Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada
Science | Sciences

Maritimes Region **Ecosystem Status Report 2003/004**

State of the Eastern Scotian Shelf Ecosystem

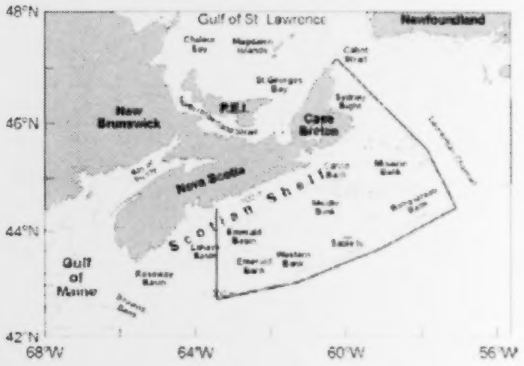
Background

The Eastern Scotian Shelf, comprising NAFO Div. 4VW, is a large geographic area (~108,000 km ^{2}) supporting a wide range of ocean uses such as fisheries, oil and gas exploration and development, and shipping. It is currently the focus for the development of an integrated management plan intended to harmonize the conduct of the various ocean use activities within it (referred to as Eastern Scotian Shelf Integrated Management or ESSIM). The area is unique for having a year-round closure for directed fishing of groundfish since 1987, associated with Emerald and Western Banks. In addition, The Gully has been declared a pilot marine protected area.

The Eastern Scotian Shelf consists of a series of outer shallow banks and inner basins separated by gullies and channels. The mean surface circulation is dominated by southwestward flow, much of which originates from the Gulf of St. Lawrence with anticyclonic circulation tending to occur over the banks and cyclonic circulation around the basins. The northeastern region of the Shelf is the southern- most limit of winter sea ice in the Atlantic Ocean.

This document provides an assessment of the current state of the Eastern Scotian Shelf ecosystem. The analysis focuses on time trends in all available data series associated with three categories of variables: biotic, abiotic, and human. Biotic variables generally include information on the abundance, distribution and composition of finfish and invertebrates, phyto- and zooplankton, and marine mammals. Abiotic variables include oceanic and atmospheric data that provide insights into ocean climate conditions. Human variables range from fishery landings, fishery revenue, activities associated with oil and gas development to contaminants. The current evaluation uses over 60 data series, most of which extend back to at least 1970. A comprehensive picture of the baseline or unperturbed state of the system is unknown.

This report is a product of a working group that compiled and analyzed various data relevant to the evaluation of the Eastern Scotian Shelf ecosystem. It also benefited from input from several DFO staff, industry participants and external reviewers as part of DFO's Regional Advisory Process (RAP).



Summary

Many features of the Eastern Scotian Shelf ecosystem have changed dramatically during the past thirty years:

- A major cooling event of the bottom waters occurred in the mid-1980s that persisted for a decade and recent intensive stratification in the surface layer has been apparent; both phenomena are associated with flow from upstream areas.
- The index of zooplankton abundance was low in the decade of the 1990s when phytoplankton levels were high and the opposite pattern was evident in 1960s/early 1970s.
- Major structural changes have occurred in the fish community: groundfish have declined while small pelagic species and commercially exploited invertebrate species have increased.
- Changes in the physical environment were associated with the expansion of range of some species and the occurrence of species new to the area.
- Reductions in average body size of groundfish have occurred and there are currently very few large fish – a situation likely to have never been witnessed in the past.
- Condition and growth of several groundfish species has remained low during the past decade contrary to expectations for improvement.

Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada
Science | Sciences

Maritimes Region | Ecosystem Status Report 2003/004

State of the Eastern Scotian Shelf Ecosystem

Background

The Eastern Scotian Shelf, comprising NAFO Div. 4VW, is a large geographic area (~108,000 km^2) supporting a wide range of ocean uses such as fisheries, oil and gas exploration and development, and shipping. It is currently the focus for the development of an integrated management plan intended to harmonize the conduct of the various ocean use activities within it (referred to as Eastern Scotian Shelf Integrated Management or ESSIM). The area is unique for having a year-round closure for directed fishing of groundfish since 1987, associated with Emerald and Western Banks. In addition, The Gully has been declared a pilot marine protected area.

The Eastern Scotian Shelf consists of a series of outer shallow banks and inner basins separated by gullies and channels. The mean surface circulation is dominated by southwestward flow, much of which originates from the Gulf of St. Lawrence with anticyclonic circulation tending to occur over the banks and cyclonic circulation around the basins. The northeastern region of the Shelf is the southern- most limit of winter sea ice in the Atlantic Ocean.

This document provides an assessment of the current state of the Eastern Scotian Shelf ecosystem. The analysis focuses on time trends in all available data series associated with three categories of variables: biotic, abiotic, and human. Biotic variables generally include information on the abundance, distribution and composition of finfish and invertebrates, phyto- and zooplankton, and marine mammals. Abiotic variables include oceanic and atmospheric data that provide insights into ocean climate conditions. Human variables range from fishery landings, fishery revenue, activities associated with oil and gas development to contaminants. The current evaluation uses over 60 data series, most of which extend back to at least 1970. A comprehensive picture of the baseline or unperturbed state of the system is unknown.

This report is a product of a working group that compiled and analyzed various data relevant to the evaluation of the Eastern Scotian Shelf ecosystem. It also benefited from input from several DFO staff, industry participants and external reviewers as part of DFO's Regional Advisory Process (RAP).

Summary

Many features of the Eastern Scotian Shelf ecosystem have changed dramatically during the past thirty years:

- A major cooling event of the bottom waters occurred in the mid-1980s that persisted for a decade and recent intensive stratification in the surface layer has been apparent; both phenomena are associated with flow from upstream areas.
- The index of zooplankton abundance was low in the decade of the 1990s when phytoplankton levels were high and the opposite pattern was evident in 1960s/early 1970s.
- Major structural changes have occurred in the fish community: groundfish have declined while small pelagic species and commercially exploited invertebrate species have increased.
- Changes in the physical environment were associated with the expansion of range of some species and the occurrence of species new to the area.
- Reductions in average body size of groundfish have occurred and there are currently very few large fish – a situation likely to have never been witnessed in the past.
- Condition and growth of several groundfish species has remained low during the past decade contrary to expectations for improvement.

- The abundance of grey seals has risen steadily during the past four decades and the population may have doubled since the last survey in 1997 to near 225,000 in 2002.
- It is not yet possible to predict how long the current situation will persist and whether or not the system will return to its previous groundfish-dominated state.

With respect to the major human activities on the Eastern Scotian Shelf, the following observations were made:

- The fishery is increasingly targeting species at lower levels in the food web because there now exists a lack of availability of groundfish at the higher trophic levels.
- Oil and gas exploration and development has been highly episodic though it is presently increasing.
- There are too few reported data on contaminant concentrations in water, sediment or biota from the area to establish either distributional patterns or trends in space or time.
- When all sources (i.e. all human uses) are taken into account, the potential cumulative effects give grounds for concern.

In an evaluation of such broad scope, data shortcomings become readily apparent:

- Knowledge about the diversity of species becomes increasingly sparse at lower trophic levels; there is a particular need for monitoring of benthic invertebrate species and contaminants.

Introduction

The need for this report stems from a number of recent developments. The Eastern Scotian Shelf is an area where there are a number of marine ecosystem issues and an integrated management planning process known as the ESSIM is currently being developed. Associated with this plan are conservation objectives related to biological diversity and productivity whose performance may, in the near future, be judged on the basis of a report similar in structure to the one presented here. There is a need to incorporate broader conservation objectives within fisheries management plans. The ever-growing body of data resulting from various monitoring programs requires continuous consolidation and synthesis. The present analysis builds on an initial synthesis by Zwanenburg et al. (2002).

Ultimately, such a report as this can be seen as a means to gauge the success of ecosystem-based management schemes while providing an assessment of the state of the ecosystem. It is the latter aspect that is the focus here. The report highlights major changes and trends in various ecosystem attributes. The evaluation does not include the nearshore waters (with the exception of fisheries landings and revenue) and as such only provides an "offshore perspective".

Fishery Landings, Revenue and Exploitation, Oil and Gas Development, Contaminants

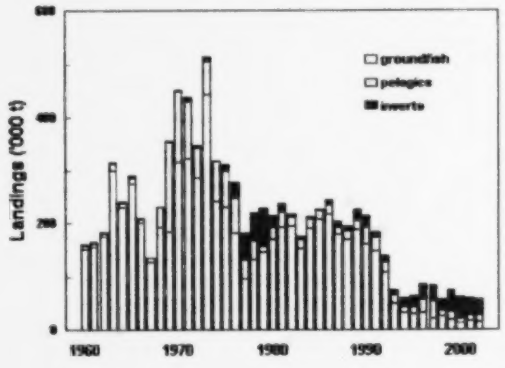
The evaluation begins with a consideration of the human variables. Three categories of human uses are reviewed including fisheries, hydrocarbon development and contaminants. Frequently, these are the major perturbations acting on continental shelf ecosystems and the Eastern Scotian Shelf is no exception. For instance, over-exploitation was one of the factors contributing to the collapse of cod and haddock in the early 1990s, which were subsequently placed under a fishing moratorium. Such human activities have the potential to influence the structure of biological communities through direct impacts on the target species as well as those that have an associated ecological dependence.

Other activities having potential ecosystem impacts in the study area were commercial shipping, naval operations, government research, ocean disposal, submarine cables

and pipelines. Their omission in the current report is due to either a relatively brief data series or none at all. Some of these ocean uses and their impacts are discussed in Coffen-Smout et al. (2001).

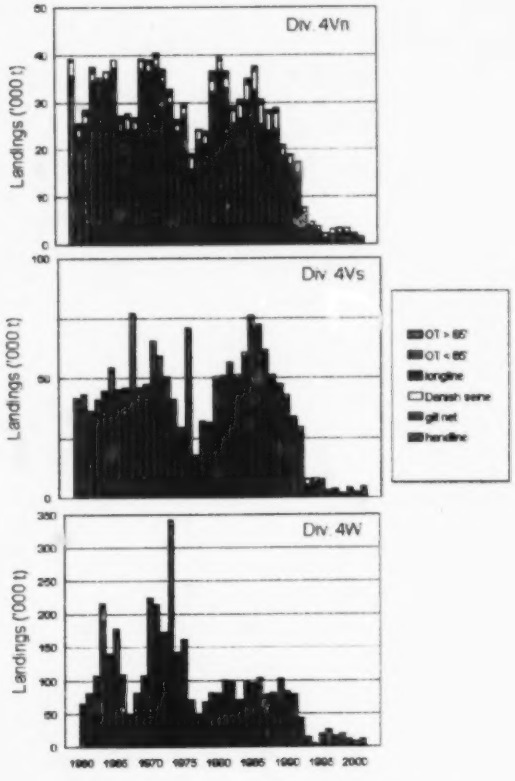
Fishery Landings, Revenue, Exploitation

Landings data from the eastern Scotian Shelf show peaks during the late 1960s/early 1970s when foreign fleets were active in the area. Total landings were relatively stable in the 1980s but were below the previous maximum. In the early 1990s, total landings reached historical low levels due to the collapse of cod and haddock stocks. Exploitation rates of cod were particularly high prior to the collapse. Throughout most of the series, groundfish dominated the landings. However, invertebrate landings have been steadily increasing since the mid-1980s and overtook groundfish as the main contributor in 1996. Pelagic landings were highest in the late 1960s/early 1970s and presently are low.



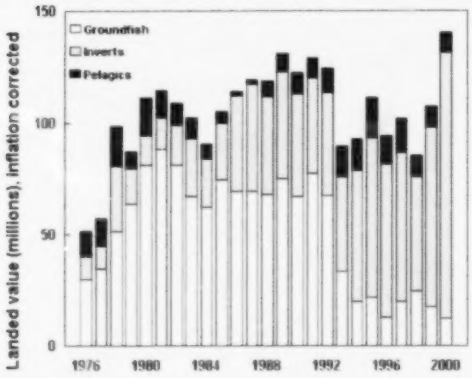
Recent research conducted by Zwanenburg (2003) provides historical landing estimates for the Scotian Shelf dating back to the early 1770s. At this time, groundfish and pelagic landings were on the order of 10,000 t annually. During the early 1800s, groundfish landings were close to 50,000 t and remained at that level until the early 1900s when annual landings ranged between 100,000 to 200,000 t. Thus, historical exploitation levels were relatively low compared to those in recent times.

Groundfish landings by management area and gear type revealed that Div. 4W yielded the highest average landings per decade by 2-5 fold relative to Div. 4Vs and 4Vn and that otter trawl catches predominated in all areas. Fixed gear catches were generally less than 10% of the total landings in each area, with the exception of Div. 4Vn where it amounted to 20%. Detailed spatial information associated with commercial landings data is generally not available prior to the 1990s.



The overall landed value generated by the fishery increased most dramatically from 1977 to 1978, coincident with extended jurisdiction to 200 miles. Throughout the 1980s and early 1990s, landed value was generally greater than $100 million and in 1993 fell to less than $100 million with the cessation of the directed fishery for cod and haddock. The year 2000 was the highest

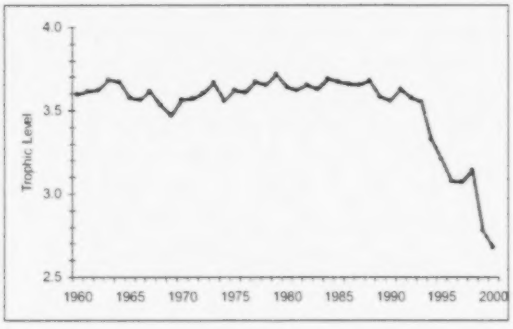
value in the series (slightly above $140 million). All landed values were corrected for inflation and expressed as dollars in 2002.



In 1980, 1990 and 2000, the percentage contribution of groundfish to the total landed value was 73, 55 and 9% respectively. In contrast, the value for invertebrate fisheries rose from 12 to 38 to 85%. The value of the pelagic fisheries did not show any trend and ranged from 8-15%. The major contributor to the rise in revenue associated with the invertebrate fisheries was lobster, snow crab and northern shrimp, with the latter two species associated with a greatly expanded fishery in recent times. Maximum landings of both snow crab and shrimp peaked in 2000 at 10,000 and 5,400 t respectively. On the Eastern Scotian Shelf, invertebrates, not finfish, are now by far the most valuable commercial fisheries. These invertebrate species maintained and eventually increased fisheries revenues in the area despite the downturn in the traditional groundfish fishery.

Several fisheries were newly created since the collapse of the groundfish fisheries in the early 1990s. The target species include Arctic surf clam, with maximum landings of 24,950 t recorded in 1999, winter skate with a peak in landings of 2,200 t in 1994, and various crab species (toad, rock and red) supporting fisheries less than 300 t. Most of these species represent potential prey of groundfish. Some of them represent range extensions from upstream areas, such as snow crab that are at the southern limit of the species distribution, and hence their occurrence on the Eastern Scotian Shelf may only be temporary.

The temporal change in the average composition of the landings has been witnessed in several other fishery systems and has been termed "fishing down the food web". It occurs when the average trophic level of the catch declines over time and the total catch decreases (Pauly et al., 1998). On the Eastern Scotian Shelf, the average trophic level (position in the food chain) of the catch of all species was relatively stable until the late 1980s. Since then, the trophic level of the catch has declined from an average of 3.6 to a low of 2.7 in 2000. This is of concern since the total catch from the Eastern Scotian Shelf has also declined. A lack of availability of groundfish has been created at the higher trophic levels of the ecosystem, and now the fishery is increasingly targeting species at lower levels in the food web.

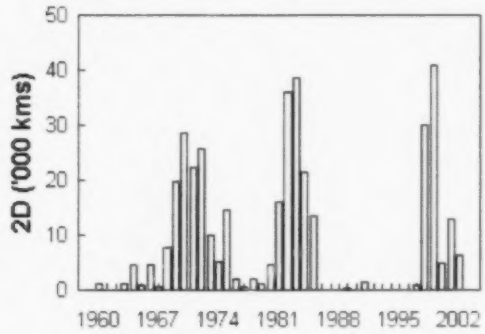


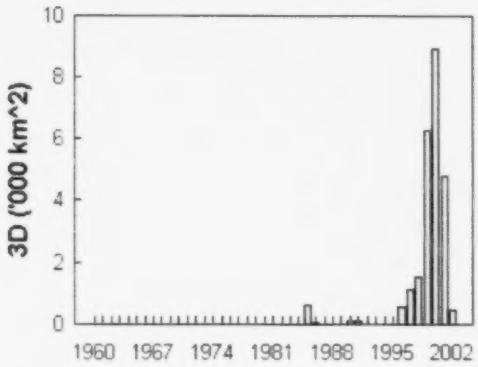
Two large geographic areas on the Eastern Scotian Shelf have been given special consideration in the recent past. In 1987, Emerald and Western Banks, totaling 13,700 km^2, were closed year-round to mobile gear fisheries in order to protect juvenile haddock and allow the stock to rebuild. The closure was expanded in 1993 to include fixed gear fisheries directing for groundfish; this management measure remains in effect to the present. The resident haddock stock has been increasing slowly although the response cannot be entirely attributed to the closure. However, spillover of haddock and other species from

the closed area to adjacent areas has been documented (Fisher and Frank 2002). The Gully (area = 2360 km^2) is a large, unique submarine canyon lying between Sable Island and Banquereau Banks. It supports a variety of habitat types and is an important area for an endangered population of the Northern bottlenose whale. It has been designated as a pilot project in DFO's Marine Protected Areas program.

Oil and Gas Exploration and Development

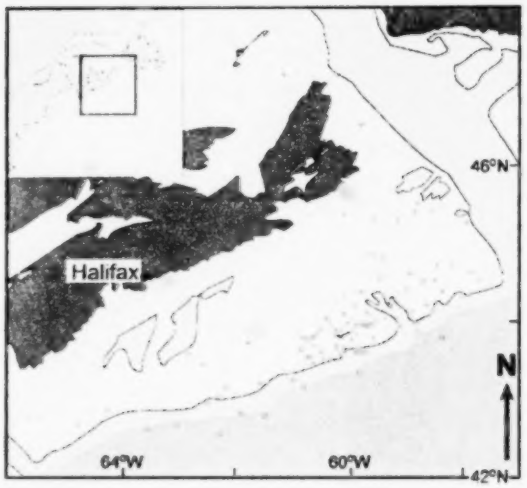
The pattern of usage of the Scotian Shelf by the petroleum industry can be characterized as one of periodic high interest and expenditure followed by diminished activity. Exploration is based on seismic surveys, used to detect petroleum deposits beneath the ocean floor that involve the use of air-guns discharging sounds over 250 decibels. Peaks in area surveyed occurred in the early 1970s, early 1980s and late 1990s. About 385,000 km of tracks have been made using 2D technology and nearly 25,000 km^2 with 3D. The two methods differ on the basis of the distance between seismic lines; with 3D having much more closely spaced lines that yield highly resolved spatial structure without the need for interpolation. Survey costs totaled about $168 million between 1967 and 1997.

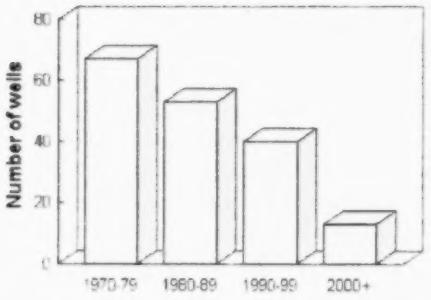




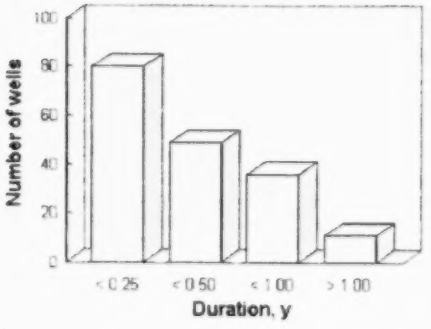
Seismic activity has the potential to cause effects on fish, invertebrates, marine mammals, and sea turtles. Scientific understanding of the immediate and cumulative effects of spatially and temporally overlapping seismic programs on the Scotian Shelf is lacking. Seismic activities on the Eastern Scotian Shelf currently overlap with known distribution areas of threatened and endangered species. However, research on the effects of seismic surveys on bottlenose whales is currently underway. Concerns have also been raised about the influence of such activities on research vessel surveys. A protocol is being developed to keep seismic surveys 30–40 km away from them.

Each of the peaks in seismic survey activity was followed by an increase in drilling. One hundred and eighty-eight wells have been drilled on the Scotian Shelf with expenditures close to $5 billion. Most of the wells are categorized as exploratory wells with a few development wells (discussed later). Drilling has been concentrated around Sable Island.





Most of the wells drilled exist for a relatively short time, i.e. less than three months. The industry is currently in a period of active exploration with emphasis on moving into deeper slope waters.

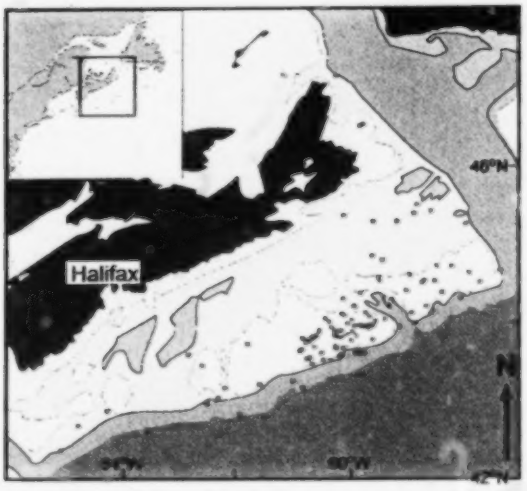


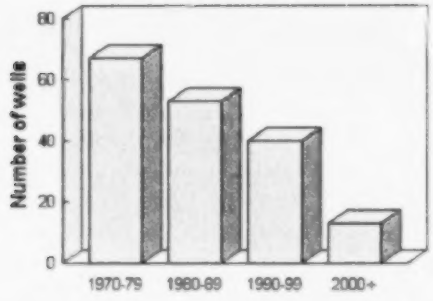
There have been two offshore development projects: CoPan (now abandoned) and SOEP, with three sites already developed and at least two more underway. The project lifetime is expected to be at least 20 years. Environmental effects monitoring programs have been designed and conducted by industry for both projects. There are a variety of wastes from oil and gas operations that are detrimental to marine life and waste release guidelines have been developed and applied to eliminate and/or minimize negative effects. Known impacts of drilling wastes appear to be relatively minor and limited to areas within a few kilometers of the rig. However, the issue of produced water is expected to be of concern in the future. The observed very high sensitivity of sea scallops to drilling wastes also remains a concern (Cranford et al. 2001).

Contaminants

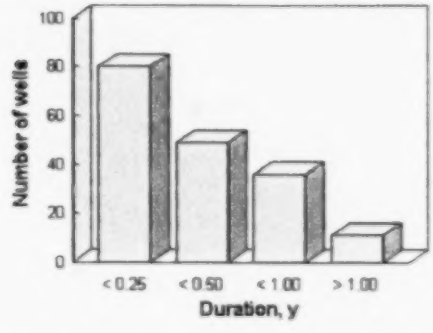
There are very few reported data on contaminant concentrations in water, sediment or biota from the Eastern Scotian Shelf area that can be used to establish either the distributional patterns of contaminants or trends in space or time. Data collected in the last decade are restricted to surveys of metals in water and sediments, metals and hydrocarbons in sediments and biota from the offshore oil and gas assessments and monitoring, and chlorinated organics in seals from Sable Island.

The metal data can be used to estimate spatial distributions for the Eastern Scotian Shelf area. Sediment samples collected in basins from the eastern and central shelf show that concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb) and mercury (Hg) are higher to the east. Dissolved metal concentrations, based on three cruises between 1985 and 1997, show a similar northeast to southwest gradient for copper. Copper is perhaps of greatest ecological concern because it is a well-known algicide and toxic to some plankton species at concentrations only slightly greater than the natural concentrations. The dissolved copper concentrations are negatively correlated with salinity indicating the importance of freshwater inputs as a source of copper. For the rest of the





Most of the wells drilled exist for a relatively short time, i.e. less than three months. The industry is currently in a period of active exploration with emphasis on moving into deeper slope waters.



There have been two offshore development projects: CoPan (now abandoned) and SOEP, with three sites already developed and at least two more underway. The project lifetime is expected to be at least 20 years. Environmental effects monitoring programs have been designed and conducted by industry for both projects. There are a variety of wastes from oil and gas operations that are detrimental to marine life and waste release guidelines have been developed and applied to eliminate and/or minimize negative effects. Known impacts of drilling wastes appear to be relatively minor and limited to areas within a few kilometers of the rig. However, the issue of produced water is expected to be of concern in the future. The observed very high sensitivity of sea scallops to drilling wastes also remains a concern (Cranford et al. 2001).

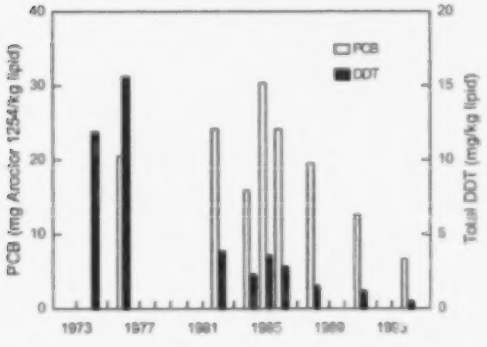
Contaminants

There are very few reported data on contaminant concentrations in water, sediment or biota from the Eastern Scotian Shelf area that can be used to establish either the distributional patterns of contaminants or trends in space or time. Data collected in the last decade are restricted to surveys of metals in water and sediments, metals and hydrocarbons in sediments and biota from the offshore oil and gas assessments and monitoring, and chlorinated organics in seals from Sable Island.

The metal data can be used to estimate spatial distributions for the Eastern Scotian Shelf area. Sediment samples collected in basins from the eastern and central shelf show that concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb) and mercury (Hg) are higher to the east. Dissolved metal concentrations, based on three cruises between 1985 and 1997, show a similar northeast to southwest gradient for copper. Copper is perhaps of greatest ecological concern because it is a well-known algicide and toxic to some plankton species at concentrations only slightly greater than the natural concentrations. The dissolved copper concentrations are negatively correlated with salinity indicating the importance of freshwater inputs as a source of copper. For the rest of the

metals, other sources, atmospheric inputs for Pb, offshore waters for Cd, etc., also contribute to the observed distributions. For all metals, the distributions reflect inputs from both natural and anthropogenic sources. No temporal trends in dissolved metal concentrations are evident from these three datasets.

The only evidence of trends in contaminant concentrations with time for the Eastern Scotian Shelf is the Addison and Stobo (2001) study of chlorinated organic contaminants in grey seals from Sable Island. This study, covering the period from 1976 to 1995, shows decreasing concentrations of DDT and DDE in adult seal blubber throughout the time series, and increasing concentrations from 1974 to 1985 and decreasing concentrations thereafter for PCBs. Industrial use of all of these chemicals was curtailed during this time period and these trends reflect the success of regulations. Less dramatic decreases were observed for the pesticides oxychlordane, alpha-hexachlorocyclohexane and trans-nonachlor. Hexachlorocyclobenzene, on the other hand, did not show a significant decrease. Other data sets for contaminants in biota are very limited in scope and cannot be used to establish spatial or temporal trends.



Cumulative Effects

When all sources and activities (i.e., noise, contaminants, and physical alteration) are taken into account, the collective effects give grounds for concern. If activities and sources are considered collectively in time and space, their additive and/or synergistic effects may cause serious impacts. An area that needs attention and research is the cumulative effects of human activity on the eastern Scotian Shelf environment. Current research and monitoring has focused on the impact of individual activities. For example, in addition to seismic, there are multiple acoustic disturbances on the Scotian Shelf from commercial shipping, naval operations, drilling rigs, and the fishing industry.

Physical Oceanography

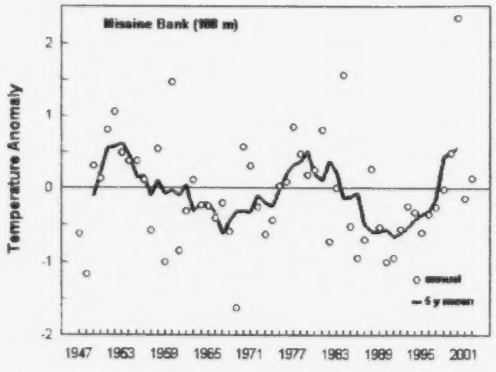
Environmental variation has long been known to influence the distribution and abundance of marine organisms. Temperature is well recognized in terms of its effect on growth and maturation of most fish and invertebrate species. The timing of the onset of the spring phytoplankton bloom and its duration, known to be influenced by physical and chemical properties, can influence survival during the early life stages of a variety of species. Variability in circulation patterns can alter drift patterns and migration routes. Collectively, the environment provides a variable setting within which species evolve and adapt. However, many environmental events are unpredictable, such as sudden intrusions of water masses, extreme storms, or persistent changes in temperature or salinity regimes.

Temperature and salinity of the Scotian Shelf waters vary spatially due to complex bottom topography, advection from upstream sources such as the Gulf of St. Lawrence and the Grand Banks of Newfoundland, melting of sea-ice in spring, local ocean-atmosphere fluxes and exchange with the adjacent offshore slope waters. The seasonal temperature range at the surface in the Eastern Scotian Shelf is upwards of 16° C, one of the highest anywhere in the Atlantic Ocean. This range decreases almost exponentially with depth, with near negligible changes at depths greater than approximately 150 m.

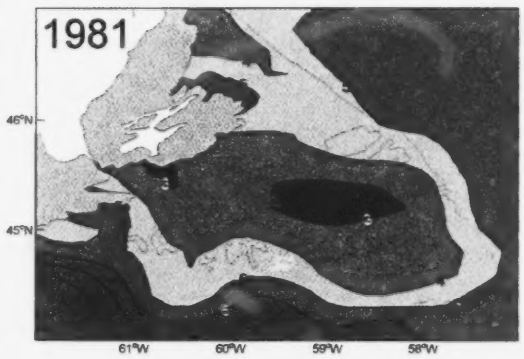
In the winter, the water column in the southwestern region of the Eastern Scotian Shelf consists of two layers. The upper layer, which extends to 100 m and deeper, is mixed by the winter winds and contains cold, low salinity water. The bottom layer is relatively warm and salty, originating from the offshore "slope waters" and enters through the deep trough between Emerald and LaHave banks. In summer, the remnant winter-cooled waters are sandwiched between the solar-heated warm upper layer (30-40 m deep) and the warmer bottom waters. The former, known as the cold intermediate layer (CIL), occupies depths from approximately 40-150 m. Spatial variation in this vertical structure occurs over the shelf, however. The warm offshore waters cannot penetrate far onto the northeastern Scotian Shelf due to topographic restrictions, therefore the CIL (temperatures < 5°C) generally extends to the bottom throughout the year in this area.

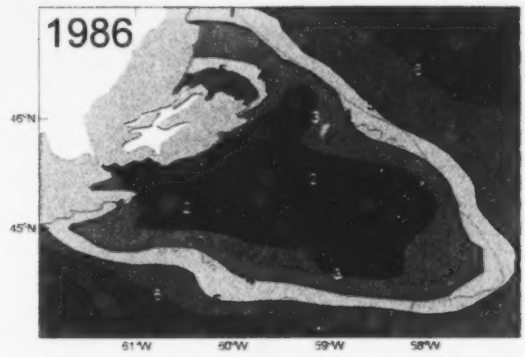
Recent Variability

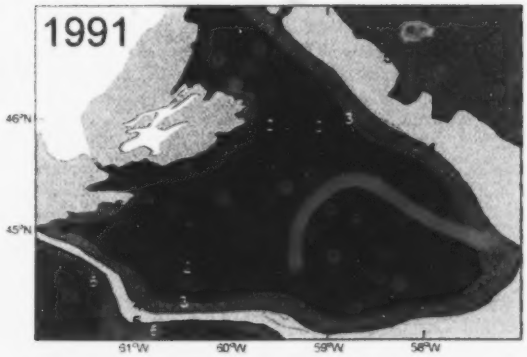
During the past two decades, the temperature and salinity conditions of the waters on the ESS have undergone important changes. Of particular note is the presence of cold subsurface waters (below 50 m) in the northeastern region. Temperatures declined through the 1980s and dropped significantly to below normal (relative to the 1971-2000 mean of 1.73° C) in 1985.



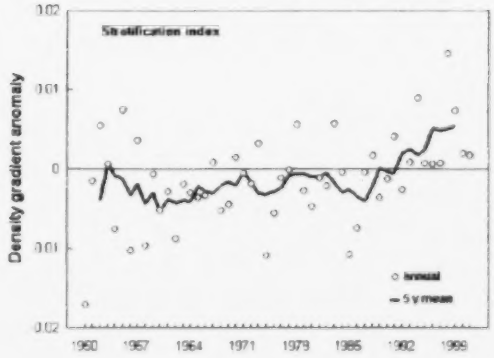
They continued to decline, reaching a minimum in the early 1990s. They then rose slowly, eventually rising above normal by the late 1990s. The almost 15-year duration of colder-than-usual temperatures is a significant feature in the over 50-year temperature record from the region. Also, the early 1990s were generally the coldest years on record. The principal cause of these cold conditions appears to be along-shelf advection (flow) from both the Gulf of St. Lawrence and off southern Newfoundland, plus the possibility of local *in situ* atmospherically-induced cooling. Similar cold conditions were observed in the nearshore regions along the entire extension of the Eastern Scotian Shelf but not in the southwestern region of the area such as in Emerald Basin. There, the influence of the offshore Slope waters penetrating onto the shelf through the Scotia Gulf, kept subsurface temperatures relatively warm throughout the 1980s and 1990s. An exception was in 1997-98 when cold Slope Water originating from the Labrador Current arrived along the shelf break and pushed the normal warmer slope waters offshore. These cold slope waters subsequently flooded the lower layers of the central and southwestern regions of the Scotian Shelf. While this event produced the coldest near-bottom conditions in these Shelf regions since the 1960s it was of short duration, lasting about one year.



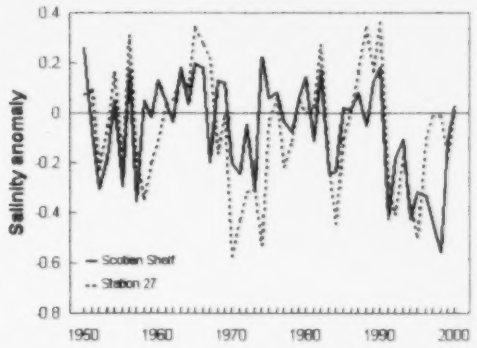




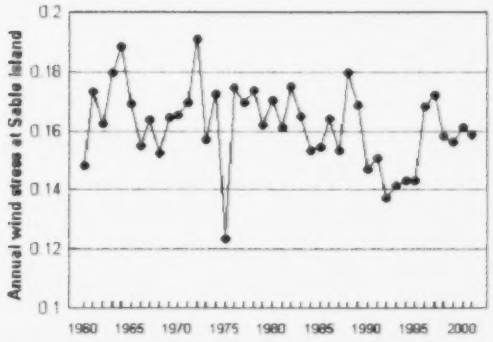
In addition to the subsurface changes, there have been important changes in the near surface waters. Foremost among these has been the increase in vertical density stratification. It increased to its highest level in the past 50 years over the top 50 m in the ESS during most of the 1990s.



This was principally a result of record low salinities in the near-surface waters that were advected onto the Shelf from off the Grand Banks.



Reduced storminess, as measured by the variability (standard deviation) in the wind stress at Sable Island may also have contributed to the increasing stratification during at least the first half of the 1990s through reduced vertical mixing.



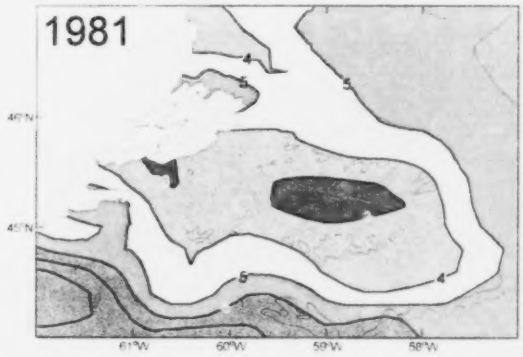
Freshwater discharge into the Gulf of St. Lawrence eventually reaches the Scotian Shelf. This discharge during the 1990s decreased relative to earlier years; thus it is not expected to have played a role in the lower salinities and increased stratification on the Scotian Shelf. Surface layer temperatures during the period of strong stratification were variable, although satellite data suggest that there were several years of high temperatures in the late 1990s, with the maximum during 1999.

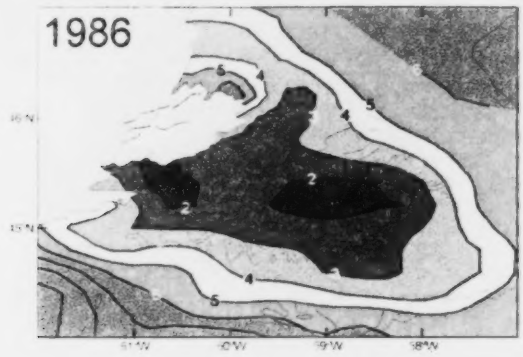
In the winter, the water column in the southwestern region of the Eastern Scotian Shelf consists of two layers. The upper layer, which extends to 100 m and deeper, is mixed by the winter winds and contains cold, low salinity water. The bottom layer is relatively warm and salty, originating from the offshore "slope waters" and enters through the deep trough between Emerald and LaHave banks. In summer, the remnant winter-cooled waters are sandwiched between the solar-heated warm upper layer (30-40 m deep) and the warmer bottom waters. The former, known as the cold intermediate layer (CIL), occupies depths from approximately 40-150 m. Spatial variation in this vertical structure occurs over the shelf, however. The warm offshore waters cannot penetrate far onto the northeastern Scotian Shelf due to topographic restrictions, therefore the CIL (temperatures < 5°C) generally extends to the bottom throughout the year in this area.

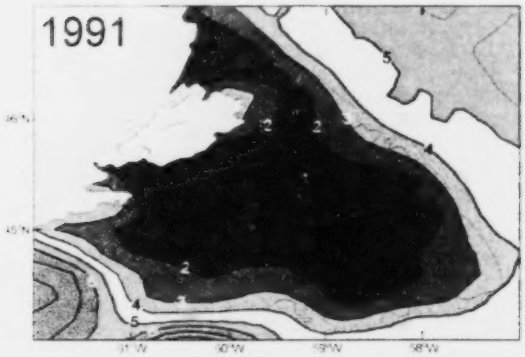
Recent Variability

During the past two decades, the temperature and salinity conditions of the waters on the ESS have undergone important changes. Of particular note is the presence of cold subsurface waters (below 50 m) in the northeastern region. Temperatures declined through the 1980s and dropped significantly to below normal (relative to the 1971-2000 mean of 1.73° C) in 1985.

They continued to decline, reaching a minimum in the early 1990s. They then rose slowly, eventually rising above normal by the late 1990s. The almost 15-year duration of colder-than-usual temperatures is a significant feature in the over 50-year temperature record from the region. Also, the early 1990s were generally the coldest years on record. The principal cause of these cold conditions appears to be along-shelf advection (flow) from both the Gulf of St. Lawrence and off southern Newfoundland, plus the possibility of local *in situ* atmospherically-induced cooling. Similar cold conditions were observed in the nearshore regions along the entire extension of the Eastern Scotian Shelf but not in the southwestern region of the area such as in Emerald Basin. There, the influence of the offshore Slope waters penetrating onto the shelf through the Scotia Gulf, kept subsurface temperatures relatively warm throughout the 1980s and 1990s. An exception was in 1997-98 when cold Slope Water originating from the Labrador Current arrived along the shelf break and pushed the normal warmer slope waters offshore. These cold slope waters subsequently flooded the lower layers of the central and southwestern regions of the Scotian Shelf. While this event produced the coldest near-bottom conditions in these Shelf regions since the 1960s it was of short duration, lasting about one year.

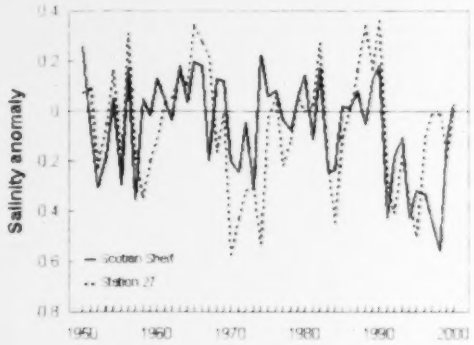




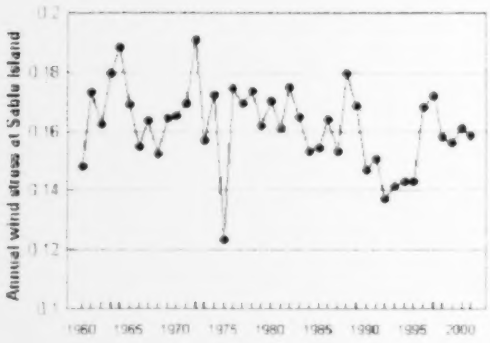


In addition to the subsurface changes, there have been important changes in the near surface waters. Foremost among these has been the increase in vertical density stratification. It increased to its highest level in the past 50 years over the top 50 m in the ESS during most of the 1990s.

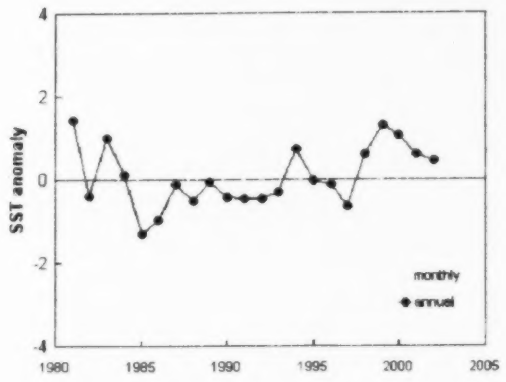
This was principally a result of record low salinities in the near-surface waters that were advected onto the Shelf from off the Grand Banks.



Reduced storminess, as measured by the variability (standard deviation) in the wind stress at Sable Island may also have contributed to the increasing stratification during at least the first half of the 1990s through reduced vertical mixing.



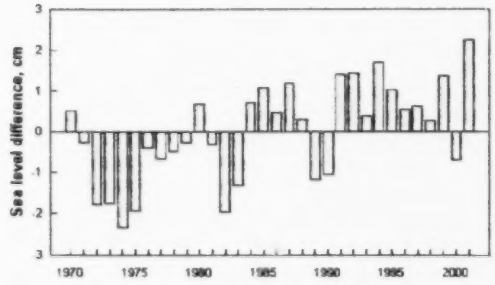
Freshwater discharge into the Gulf of St. Lawrence eventually reaches the Scotian Shelf. This discharge during the 1990s decreased relative to earlier years; thus it is not expected to have played a role in the lower salinities and increased stratification on the Scotian Shelf. Surface layer temperatures during the period of strong stratification were variable, although satellite data suggest that there were several years of high temperatures in the late 1990s, with the maximum during 1999.



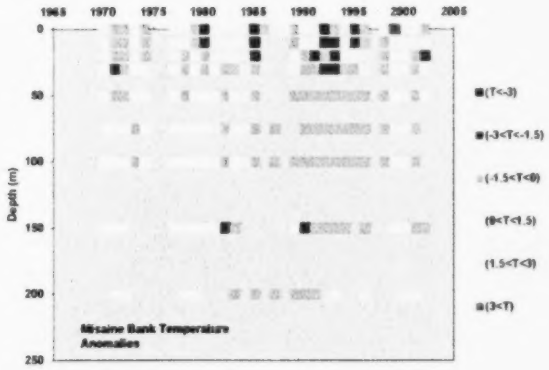
This corresponded to the year of record setting air temperatures over the Scotian Shelf.

Sea Level Gradients

The Nova Scotian Current flows from the Gulf of St. Lawrence through Sydney Bight and down the coast past Halifax, driven in part by an alongshore pressure gradient. The sea level difference between North Sydney and Halifax provides a measure of the relative (not absolute) sea level difference along the Nova Scotian coast. If the relative difference is large, a stronger Current and potentially more Gulf of St. Lawrence water on the shelf is expected; on the other hand, if the difference is small, then the influence of the Gulf water could be reduced. In the figure below, two graphs are presented. The time series of annual sea level difference anomaly between North Sydney and Halifax.



A positive anomaly means that North Sydney sea level is higher than normal relative to Halifax and a negative anomaly that it is lower. The periods of negative sea level difference anomaly (hypothesized as corresponding to reduced St. Lawrence outflow) are generally associated with periods of warmer conditions. The periods of positive sea level anomaly (hypothesized as corresponding to enhanced St. Lawrence outflow) are generally associated with periods of colder conditions. The temperature anomalies for July over Misaine Bank, at 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200 m, are colored to reflect their magnitude and sign. Note in particular the transition from warm conditions in the 1970s and early 1980s to cooler conditions in the mid-1980s to mid 1990s when the eastern Scotian Shelf was strongly influenced by advection from upstream.



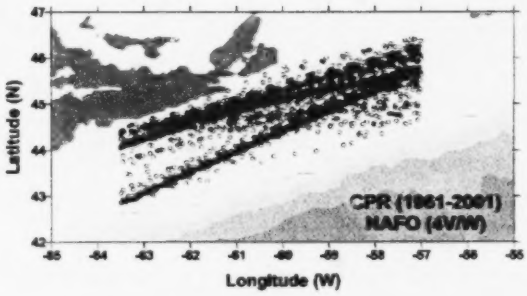
Phyto-, Zoo-plankton, Benthos, Fish, Marine Mammals

A wide variety of organisms are important components of the biology of the Eastern Scotian Shelf. Only those groups having details about their abundance and whether or not it has changed with time are reported here. For several groups of organisms, including cetaceans, seabirds, sea turtles, and most invertebrates, consistent time series data are not available.

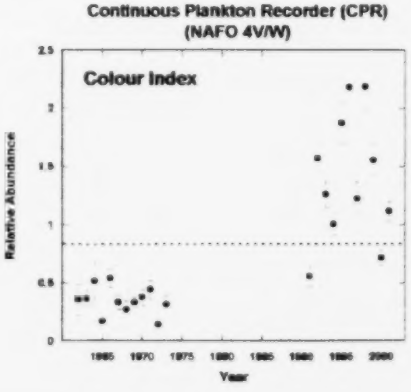
Phyto-, zoo-plankton

Estimates of the abundance of phytoplankton on the ESS come from the Continuous Plankton Recorder (CPR), the longest plankton time-series in the Northwest Atlantic. Historical CPR data are

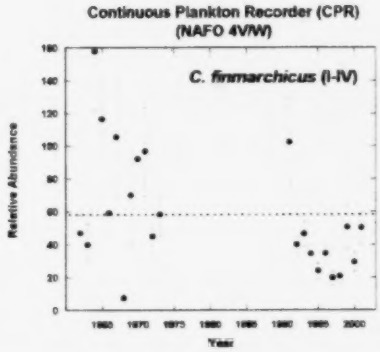
analysed to detect differences in the indices of phytoplankton (colour and relative numerical abundance) and zooplankton relative abundance at approximately monthly intervals. The sampling methods from the first surveys in the NW Atlantic to the present are the same, allowing comparisons between years. Surveys begun in 1961 were discontinued in 1976 but reinstated in 1991 and continue to the present. Data collected in 1961 and 1974-76 were incomplete and therefore excluded from the analysis.



Phytoplankton abundance can be characterized by considerable interannual variability, however, the CPR colour index and diatom and dinoflagellate counts per tow show that levels in the most recent decade (1991-2001) are significantly higher and more variable than seen in the 1960s and early 1970s. Decadal changes appear to be more pronounced in diatoms than dinoflagellates. There is also evidence that the spring blooms have been larger, started earlier and lasted longer in the decade of the 1990s compared to the 1960s and 1970s.



In contrast to decadal changes in phytoplankton abundance, abundances of one of the most important Northwest Atlantic zooplankton species, *Calanus finmarchicus*, decreased in the most recent decade compared with the 1960s/1970s and the differences were statistically significant.



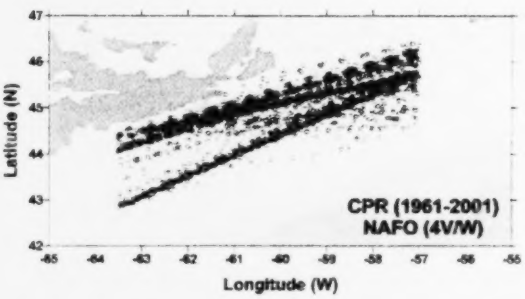
Interannual variability in the 1990s was less pronounced than during the early CPR surveys. Other common temperate species (e.g. *Paracalanus, Pseudocalanus*) showed little change over the data record, while cold-water species originating from the Gulf of St. Lawrence and the Labrador Current (e.g. *Calanus hyperboreous*) were more prevalent in the 1990s, compared with the 1960s/1970s. The CPR total numbers of krill (euphausiids) were low in the 1990s compared to the 1960s/early 1970s, similar to observations made for *Calanus* (DFO, 2000).

Index	1962-1973	1991-2001
Colour	0.35 (0.12)	1.39 (0.54)
Diatoms	44,448 (29,916)	125,361 (57,989)
Dinoflagellates	22,611 (11,482)	32,229 (9,282)
C. finmarchicus (I-IV)	74.6 (40.8)	41.1 (23.2)
C. finmarchicus (V-VI)	17.8 (11.6)	8.3 (3.4)
C. hyperboreous	0.018 (0.029)	0.192 (0.312)
Para/Pseudo-calanus	129.1 (62.6)	145.5 (58.0)

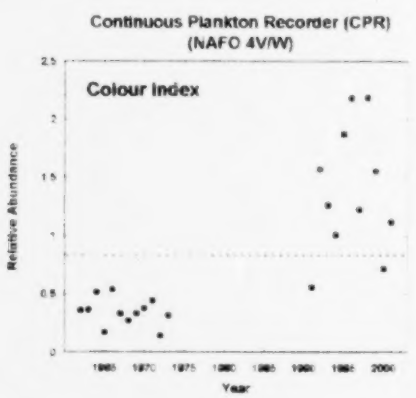
Values represent mean and standard deviation (in parentheses); units are counts per tow excluding colour which is measured as "greenness"

Because of the large data gap between the mid-1970s and 1990s, it is not possible to

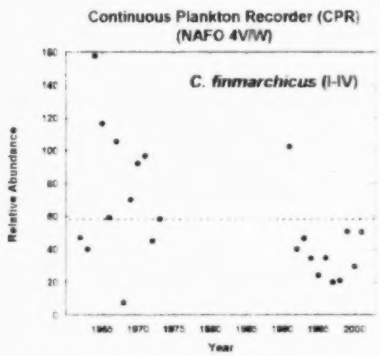
analysed to detect differences in the indices of phytoplankton (colour and relative numerical abundance) and zooplankton relative abundance at approximately monthly intervals. The sampling methods from the first surveys in the NW Atlantic to the present are the same, allowing comparisons between years. Surveys begun in 1961 were discontinued in 1976 but reinstated in 1991 and continue to the present. Data collected in 1961 and 1974-76 were incomplete and therefore excluded from the analysis.



Phytoplankton abundance can be characterized by considerable interannual variability, however, the CPR colour index and diatom and dinoflagellate counts per tow show that levels in the most recent decade (1991-2001) are significantly higher and more variable than seen in the 1960s and early 1970s. Decadal changes appear to be more pronounced in diatoms than dinoflagellates. There is also evidence that the spring blooms have been larger, started earlier and lasted longer in the decade of the 1990s compared to the 1960s and 1970s.



In contrast to decadal changes in phytoplankton abundance, abundances of one of the most important Northwest Atlantic zooplankton species, *Calanus finmarchicus*, decreased in the most recent decade compared with the 1960s/1970s and the differences were statistically significant.



Interannual variability in the 1990s was less pronounced than during the early CPR surveys. Other common temperate species (e.g. *Paracalanus, Pseudocalanus*) showed little change over the data record, while cold-water species originating from the Gulf of St. Lawrence and the Labrador Current (e.g. *Calanus hyperboreous*) were more prevalent in the 1990s, compared with the 1960s/1970s. The CPR total numbers of krill (euphausiids) were low in the 1990s compared to the 1960s/early 1970s, similar to observations made for *Calanus* (DFO 2000).

Index	1962-1973	1991-2001
Colour	0.35 (0.12)	1.39 (0.54)
Diatoms	44,448 (29,916)	125,361 (57,989)
Dinoflagellates	22,611 (11,482)	32,229 (9,282)
C. finmarchicus (I-IV)	74.6 (40.8)	41.1 (23.2)
C. finmarchicus (V-VI)	17.8 (11.6)	8.3 (3.4)
C. hyperboreous	0.018 (0.029)	0.192 (0.312)
Para/Pseudo-calanus	129.1 (62.6)	145.5 (58.0)

Values represent mean and standard deviation (in parentheses); units are counts per tow excluding colour which is measured as "greenness"

Because of the large data gap between the mid-1970s and 1990s, it is not possible to

ascertain whether the decadal changes in plankton observed on the ESS were gradual or rapid. The biodiversity of phyto- and zooplankton has not been adequately studied and requires attention. For instance, the collection programs for zooplankton have thus far assessed only common species and their various developmental stages.

Benthos

In relative terms, the benthic community on the Eastern Scotian Shelf is poorly understood. However estimates do exist for some species groups in a few areas. At a study site on Banquereau Bank, 270 benthic macro- and mega-faunal species have been recorded; 341 have been recorded at a site on Western Bank. Meiobenthic species (e.g. nematodes) were not assessed at these sites.

A comprehensive account of the benthic community, in terms of species diversity and distribution of major taxa on the Eastern Scotian Shelf, can be found in Breeze et al. (2002). The distribution of benthic invertebrates on the Eastern Scotian Shelf is strongly associated with sediment type and water temperature. Sand dollars (*Echinarachnius parma*) are typical invertebrates of banks with fine sandy, sediments. Ocean quahaugs (*Arctica islandica*) and Arctic (Stimpson's) surf clams (*Mactromeris polynyma*) are typical species of coarser sandy bottoms and are frequently found with northern propeller clams (*Cyrtodaria siliqua*) and sea cucumbers (*Cucumaria frondosa*). Sea scallops (*Placopecten magellanicus*) and their associated species are common on sandy-gravel bottoms of the banks.

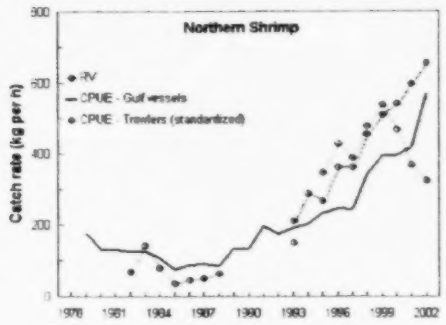
Typical invertebrates of the cool waters and fine sediments of the depressions near Misaine Bank include snow crabs (*Chionoecetes opilio*), brittle stars (*Ophiura* spp.), and northern shrimp (*Pandalus borealis*). Common species of the fine sediments of Emerald Basin are somewhat different than those found in the cool waters further northeast. Jonah crab (*Cancer borealis*) is common throughout the basin and in deeper waters of the central Scotian Shelf but is uncommon further east. Snow crabs are uncommon on the central and western Scotian Shelf. Polychaetes from the families Serpulidae and Onuphidae are found in areas with fine sediments, with cold water species in the area near Misaine Bank and the slope of the Laurentian Channel and warmer water species in Emerald Basin and the slope south of Western and Emerald Banks.

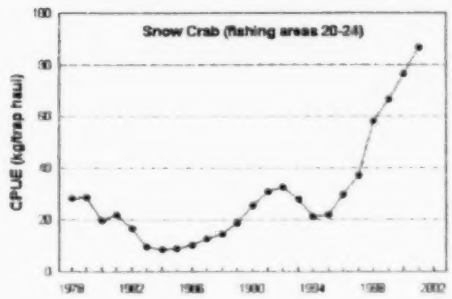
From the few studies of the benthic environment of the slope, sea pens (Pennatulacea), solitary cup corals (*Flabellum* spp.), and brittle stars (Ophiuroids) are relatively common on fine sediments. Ice-rafted boulders found on the upper slope (above 800 meters) and various other areas of the Eastern Scotian Shelf host many species of attached invertebrates, including sponges, bryozoans, anemones, and soft corals.

Environmental conditions in parts of the Eastern Scotian Shelf and Slope support unique or patchily distributed benthic communities. Concentrations of large gorgonian corals are found in submarine canyons and deep channels.

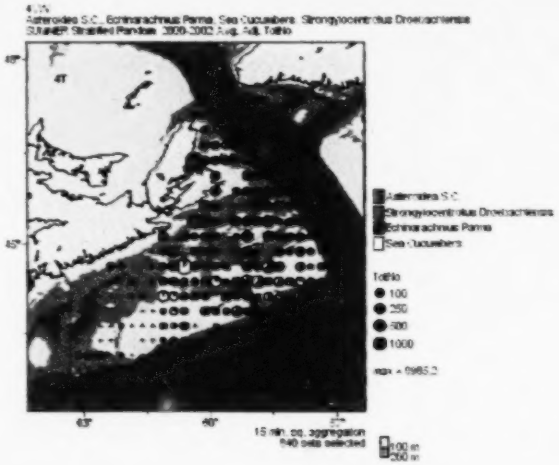
Routine, annual surveys of the benthic invertebrate community are not available, with the exception of directed surveys for commercially exploited species such as shrimp and snow crab. These species both show dramatic increases in abundance since the early 1990s, which have sustained a greatly expanded fishery. It should be noted that there is uncertainty in using CPUE as an index of abundance for snow crab. In particular, there has been a progressive switching to more efficient traps in recent years (DFO, 2003a). These recent increases may be overstated and indeed the shorter research survey time series shows a recent decline in abundance. Also, as stated earlier, snow crab is at the southern end of their species distribution

and thus their occurrence may only be temporary.





Future evaluations on non-commercial species may be possible given that in 1999, the July research vessel (RV) survey of the Scotian Shelf has started to systematically identify components of the benthic community, both non-commercial and commercial. For example, the distribution of sea cucumbers, sea urchins, sand dollars, and sea stars are shown, illustrating the future potential of this growing database for discerning patterns of distribution. It should be noted that otter trawls are inefficient at capturing epi-benthic organisms and completely miss organisms buried in the sediments, i.e. the so-called infauna. Collection of comprehensive time series data might be best achieved by revisiting various DFO study sites where baseline data exists, such as those associated with clam dredging on Banquereau, trawling impacts on Western Bank and a current fish habitat project on Emerald, Western and Sable Island banks.

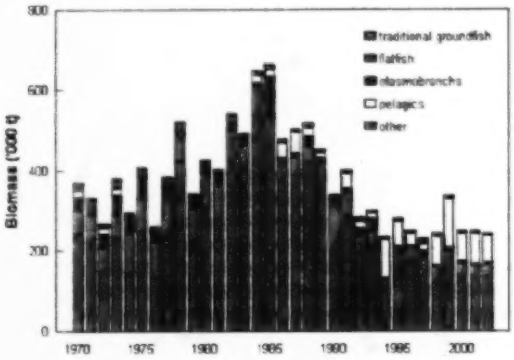


Fish

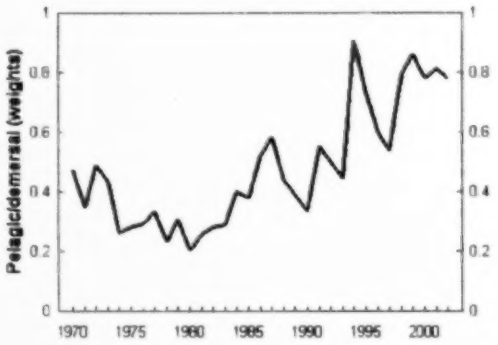
The primary source of information used to examine fish community structure was based on the July RV survey that has been conducted since 1970. It is the primary, fishery independent index used in the assessment of commercially exploited stocks on the Scotian Shelf. It provides quantitative estimates of a vast array of demersal (groundfish) and pelagic species. Additionally, length and weight measurements have been made on most species throughout the survey series. Slightly more than 130 species have been captured since the inception of the survey.

Trawlable biomass estimates for five groups of species were determined including traditional groundfish (includes cod, haddock, white hake, red hake, silver hake, cusk, pollock, offshore hake, redfish), flatfish (halibut, turbot, plaice, witch, winter flounder, Gulf Stream flounder, windowpane, fourspot), elasmobranchs (thorny skate, smooth skate, little skate, winter skate, spiny dogfish, black dogfish), small pelagics (herring, mackerel, capelin, sandlance, argentine, shad, alewife) and others (everything else). Overall, total trawlable biomass dropped from a peak exceeding 600,000 t during the mid-1980s to slightly above 200,000 t during the last several years. Traditional groundfish experienced the greatest decline followed

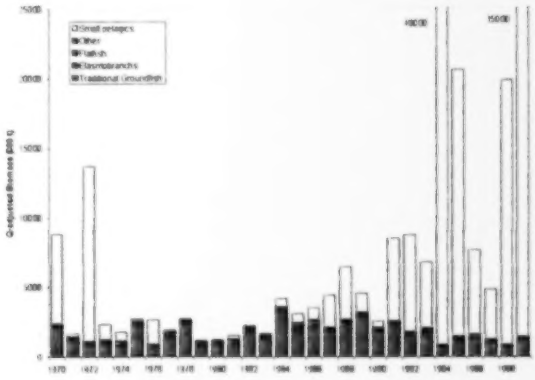
by flatfish and elasmobranchs. In contrast to groundfish, small pelagics greatly increased. A similar pattern was evident when expressed as abundance, however the change in pelagics was extraordinary amounting to a 400-500 fold increase since the early 1980s. Given that the survey gear used to capture pelagic species, such as herring, mackerel, sand lance and capelin, is not very efficient, the estimates of pelagic abundance are indeed very conservative (i.e. an underestimate).



A simple expression of the ratio of pelagic to demersal biomass provides a compelling demonstration of the shift in community structure.



When survey estimates of trawlable biomass are adjusted for catchability (i.e. application of a scaling factor representing the degree to which the survey gear under-samples a given species), the result is an estimate of absolute population biomass. While such estimates are somewhat uncertain and require many assumptions based on the behavior of individual species (Harley et al., 2001), such conversions provide another view of the magnitude of changes in fish biomass. Adjusting for the relative catchability of all species to the groundfish trawl survey indicates an increase in total biomass and a system that is currently strongly dominated by small pelagic biomass (K. Zwanenburg, DFO, personal communication). The catchability-adjusted data provide a more realistic view (increasing) of the recent trend in total fish biomass compared to the un-adjusted series. High variability in the total biomass estimates are due to the variable contribution made by pelagic species associated with the inefficient method of sampling this group.

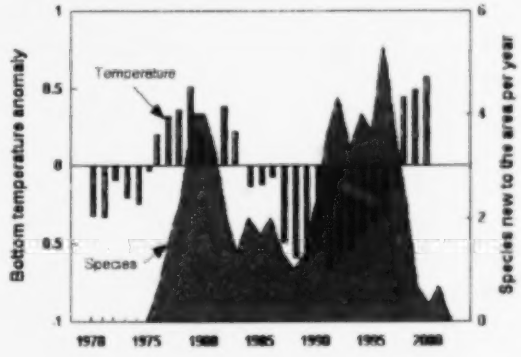


Species composition differed strongly between years of the survey with three general groupings evident: 1970-1980, 1981-1992, and 1993-2002. A dynamic community composition is evident with a continual progression away from the earlier states.

Top Ten	1970-1980	1981-1992	1993-2002
1	Redfish	Redfish	Sand lance
2	American plaice	Silver hake	Capelin
3	Yellowtail flounder	Haddock	Silver hake
4	Cod	Cod	Haddock
5	Sand lance	American plaice	Herring
6	Silver hake	Yellowtail flounder	Redfish
7	Haddock	Herring	American plaice
8	Thorny skate	White hake	Yellowtail flounder
9	Witch flounder	Capelin	Cod
10	Longhorn sculpin	Thorny skate	Witch flounder

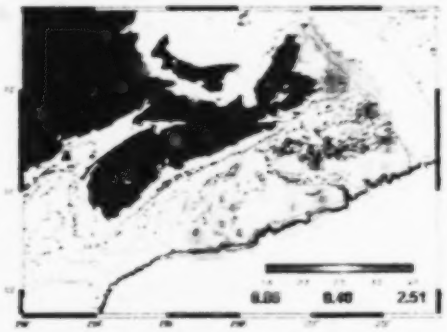
The composition of the top ten species, based on abundance, changed dramatically in the most recent period with pelagic species such as sand lance, capelin and herring now being dominant. Only silver hake and haddock have remained near the top since the early 1980s, while cod, redfish, white hake, and thorny skate have decreased. In addition, 10-50-fold increases in the abundance of daubed shanny, turbot, snake blenny and sea poacher were evident in the most recent period relative to 1981-1992. It is notable that the increasing species are all small-bodied, with the exception of turbot. In addition, temperature conditions appear to influence the occurrence of new species in the area, particularly when conditions remain persistently above or below normal.

Several species of sub-Arctic origin were first recorded during the anomalous cooling period that began in the mid-1980s, including shorthorn sculpin, sea tadpole, Newfoundland eelpout, two horn sculpin, little grubby and checker eelpout. Overall, thirty species new to the area have been captured since 1991, with the vast majority less than 35 cm. Conversely, during the warm water conditions that began in the late 1970s several warm temperate/sub-tropical species were captured including beardfish, barracudina, batfish, greeneye, common wolfeel, deepwater flounder and snipe eel.

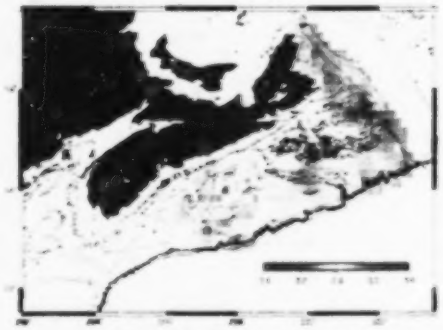


The foregoing description of temporal changes in species composition and abundance suggests that decreases in length and weight averaged across all groundfish species would be evident. The pattern of reduced weight (units = kg) was most evident during the 1990s with the largest reduction in the 4Vn and 4Vs areas. Changes in length mirror these patterns. Declining average weight, as depicted above, not only reflects increased abundance of small bodied species but also contracted size distribution of large-bodied species.

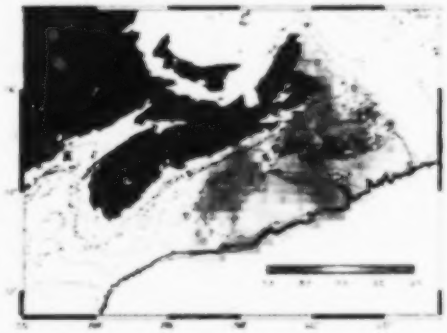
Mean fish weight (1970's)



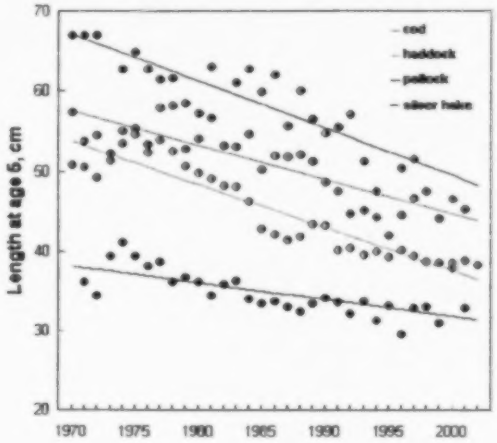
Mean fish weight (1980's)



Mean fish weight (1990's)

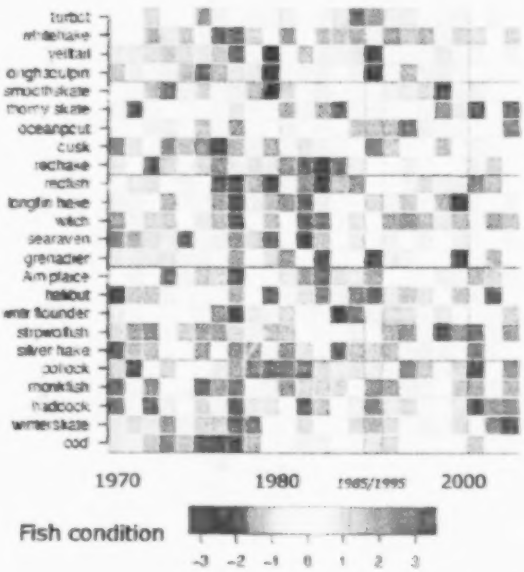


Although only few of the several traditional groundfish species have been routinely aged, the available information reveals striking and unexpected reductions in growth. For example, adult cod, haddock and pollock (age 5) are now much smaller, on average, compared to individuals from the 1970s and 1980s. Reductions in size at age have also occurred in silver hake. The trend of reduced size has occurred, despite current low population levels, suggesting that a fundamental, population dynamic process (compensatory growth) is not working among these species.



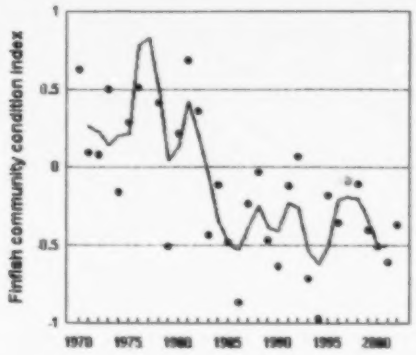
There are numerous potential implications of these changes in average body size associated with the formerly large-bodied species such as shorter generation times, increased natural mortality, and increased population variability. Direct estimation of natural mortality for cod and haddock was made possible by closure of the directed fishery and revealed levels 2-5X higher than commonly assumed (DFO 2003b, Mohn and Simon 2002). Such changes do not necessarily translate to an unhealthy ecosystem but simply one that is functioning in a different manner than in the past.

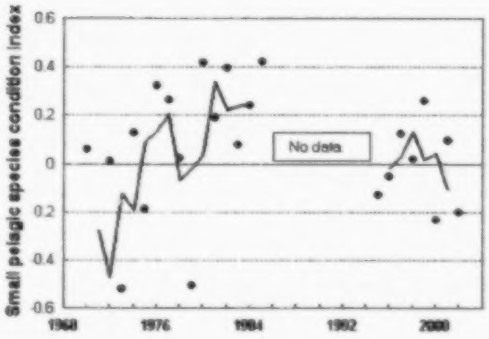
We can, however, evaluate health of one component of the ecosystem directly and that is the physiological condition of the various species, the condition factor, a simple indicator of energy storage. Data are available from both commercial and non-commercial species, and it is not influenced directly by fishing pressure (such as size selective fishing). A multi-species condition index was developed by expressing variation in the predicted weight at a given size for each species as an anomaly in standard deviation units. The standard deviation was color coded from green to red, representing strongly positive to strongly negative anomalies respectively. Twenty-four common species were used in the analysis with predicted weight estimated for sizes corresponding to adults. The analysis revealed that a wide variety of species changed condition in a similar manner from year-to-year, sixteen of which were in relatively good condition up to 1982 followed by a prolonged period of below average condition to present.



A temporal series of fish community condition was developed by taking the average across species each year. The first half of the series reflects the high above-average condition of the community followed by a rapid drop to below-average condition since 1983 that continues to persist. For pelagic species, the data are relatively spotty but do show that condition peaked in the mid-1980s at the time when groundfish condition was dropping. Recent

condition is close to normal, again in contrast to its demersal counterpart.

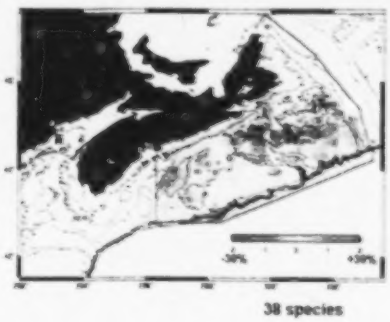




Using a complimentary method for evaluating condition that incorporated all groundfish species having length and weight data (n=43 species), fine scale spatial patterns of condition were determined.

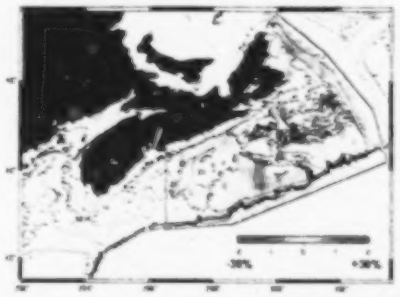
Extensive areas on the Eastern Scotian Shelf were inhabited by fish species in relatively good condition up to 1982, thereafter a reversal of the situation occurred. Interestingly, the Misaine Bank region, an area of complex topography, has remained an area in which the fish are in relatively good condition. The Eastern Scotian Shelf ecosystem has not had a prolific groundfish population for nearly two decades.

Fish community condition (1970-1982)



38 species

Fish community condition (1983-2002)



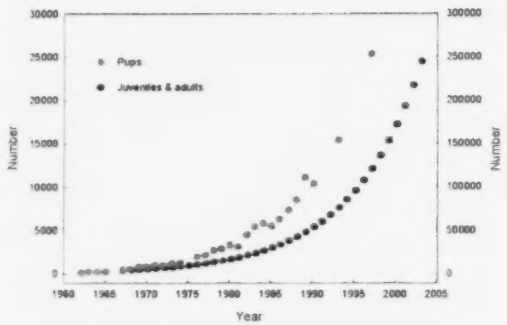
42 species

Marine Mammals

Twenty-three species of marine mammals inhabit the Eastern Scotian Shelf either seasonally or throughout the year. Although five seal species occur in the area, only harbour and grey seals are common to abundant and have been studied annually for some time. The remaining 18 species are represented by a variety of toothed whales (i.e., odontocetes), including the bottlenose whale and sperm whale, and baleen whales. With the exception of the northern bottlenose whale, there is little information on temporal changes in abundance of cetaceans within the Eastern Scotian Shelf. Nevertheless, a number of the small odontocete species are thought to be common to abundant seasonally. Vessel-based surveys of bottlenose whales have been conducted since 1988 in the Gully. Sighting rates (i.e., sightings/hour searching) between 1988 and 1999 have varied among years, but without evidence of trend, and there was no significant difference in population estimates for 1990,

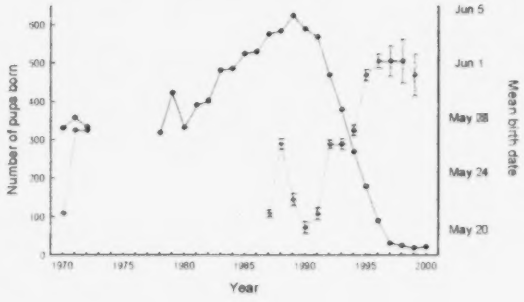
1996 and 1997 (Gowan et al. 2000). The most recent analysis, based on resightings of naturally marked individuals, indicates a population size of 130 whales (Gowan et al. 2000).

Grey seal pup production has been increasing at an annual rate of 13% per year for the past four decades (Bowen et al. 2003a). Concerns have been expressed repeatedly about the impact of the expanding grey seal population on the recovery of cod. Sand lance and other non-commercial species are the most common prey in the diet with cod contributing a small fraction of the fish consumed. Because the cod population is so low, it is assumed that any additional source of mortality may be detrimental to the remaining stock.



Estimates of grey seal consumption are calculated from a population model, which incorporates metabolic requirements of individual seals (Mohn and Bowen 1996). Current population size and diet of grey seals are not available. But if the rate of growth has continued at past levels, then the population could have doubled since the last survey in 1997 to near 225,000 in 2002. Based on this extrapolation and recent evidence from fatty acids that cod may account for only about 1% of the diet in recent years, the estimated consumption of cod by grey seals is in the order of 3,000 t, compared to a total cod population biomass of 8,800 t (DFO, 2003b). Recent satellite tracking of adult grey seals indicates that a fraction of the Sable Island population forages in areas beyond the boundaries of the Eastern Scotian Shelf ecosystem. Therefore, the consumption of cod by grey seals in this ecosystem may be less than that currently estimated. The impact of grey seal predation on the dynamics of cod is an active area of research and there are continued concerns on the role of seal predation on cod recovery.

Harbour seals are widely distributed on the Eastern Scotian Shelf at both coastal and an offshore site, Sable Island. Pup production has been monitored on Sable Island since 1973 and the number of pups born steadily increased through the late 1980s. However, during the 1990s, pup production fell rapidly and dramatically as a result of increased shark predation and presumed competition for food with the expanding grey seal population (Lucas and Stobo 2000, Bowen et al. 2003a). Coincident with a decline in number was an increase in the mean birthing date of females (red symbols), suggesting nutritional stress prior to the breeding season. By 2002, less than a dozen pups were born on Sable Island and in all likelihood Sable Island will become a non-breeding site in the future. Conversely, harbour seal populations in the Gulf of Maine and on the western part of the Scotian Shelf appear to be increasing.



Synthesis

An overall picture of the changes that have taken place on the Eastern Scotian Shelf since 1970 was addressed by adopting an approach similar to the traffic light framework used in stock assessments and recently utilized by Link et al. (2002) for an

ecosystem evaluation in a fisheries management context of Georges Bank. Sixty-four metrics were used in the evaluation with 50 representing primary indices and 14 indicative of second order indices, i.e. higher level processes such as community composition, ratios of variables, growth, etc (see Appendix Table 1). The indices were made directly comparable to one another by expression as anomalies (deviation from long-term mean) in standard deviation units. Colors were used to display the magnitude of the anomalies ranging from strongly negative (red) to strongly positive (green). The color scheme was not chosen to convey judgment on the direction of change (i.e. good or bad).

The metrics shown in Appendix Table 1 have been ordered to show how they change in a coordinated manner over the study period. Thus, the location of the variables along the sequence in the table reflects the relative similarity in the manner in which the metrics vary over time. For example, seal abundance, pelagic fish abundance and the pelagic:demersal ratios (metrics located at the top of the table) change in a coherent manner relative to those further down the list. What is visually striking is the change in state of almost all the metrics over the study period, with the transition occurring between the years 1985 to 1990. There is also evidence of reciprocal changes in the sign of the standardized anomalies from those indicators of groundfish abundance to pelagic abundance to zooplankton to phytoplankton – that is the components of a simplified food chain. When the indicators of groundfish abundance were high during the 1970s/mid-1980s, pelagic abundance was low, zooplankton abundance was high and chlorophyll was low. Throughout the 1990s, a reversal of this pattern was evident when the indicators of groundfish abundance were low. These patterns remain, as yet, unexplained however a few key hypotheses deserve consideration: 1) "Top-down" or predator control of food webs is one possible explanation for the reciprocal changes in abundance among adjacent trophic levels. 2) Physical changes associated with increased stratification could favor the proliferation of a pelagic-based food web and limit the flux of nutrients to the benthos. 3) Cooling and increased advection were associated with colonization by sub-Arctic species, increases in abundance of snow crab and shrimp, and declining groundfish productivity. Coupled with high exploitation pressure on groundfish, dominant species such as cod and haddock may have been made more susceptible to these physical changes. It should be noted that the hypotheses are not mutually exclusive and elements of each one may be contributing to the observed patterns.

The sequence of metrics in Appendix Table 1 is derived from a multivariate ordination of the anomalies (in this case, Principal Components Analysis; see Appendix Figure 1), a technique that objectively describes and summarizes these suites of changes in the metrics. The primary suite of changes (PCA axis 1) are related to the changeover from a predominantly demersal system in the 1970s to a more pelagic system in the current decade. The relative position of the years provides an indication of their relative similarity in the metrics used to characterize the Eastern Scotian Shelf. The relative location of the metrics indicates the degree to which these variables influence the associated years. Thus, for example, the years 1970 to 1980 are all located towards the left in Appendix Figure 1 and are associated with large length-at-age of cod and haddock, high relative fishing mortality, large mean size of demersal fish, high landings of groundfish and high levels of PCB concentrations in seal blubber. Conversely, the late 1990s are associated with high landings of invertebrates, stronger stratification anomalies, elevated pelagic:demersal ratios, elevated seal abundance, and elevated CPR colour levels. The second most dominant suite of changes (PCA axis 2) contrasted the temperature variations on the eastern Scotian Shelf, highlighting the distinctive character of the period between 1985 to

1993, when ice coverage was higher and lower bottom temperatures prevailed in Misaine Bank.

Outlook

Several components of the Eastern Scotian Shelf ecosystem have changed as a consequence of human actions and environmental variability. The magnitude of change has been rapid and from a species perspective some groups are proliferating while others are not. Several invertebrate species are now supporting either new or expanded fisheries. Small pelagic fishes are flourishing. The persistent reduced condition of a variety of groundfish species, the low size-at-age and high natural mortality of a subset of species of commercial importance is perplexing to say the least. Given low groundfish abundance and generally high prey abundance, conditions for growth should be good. Temperature conditions have also moderated since the late 1990s. In particular, cod has failed to recover due both to poor growth and lack of recruitment. At Sable Island, grey seals have been steadily increasing during the past four decades whereas harbour seals are declining. Changes in the physical environment have also been apparent and it is too early to tell whether such regional changes reflect only natural variation or are part of the anticipated larger scale climate changes associated with the "Greenhouse" effect. Ever growing demands for fossil fuels will also result in continued exploration and development with their attendant impacts, which at present appear to be either localized or unknown. Prediction of how long the current situation will persist and whether or not the system will return to its previous groundfish-dominated state is not yet possible as there is limited understanding of the dynamics of marine ecosystems.

In an evaluation of such broad scope in a relatively well studied area, some data shortcomings are apparent and it is important these be noted to capture the uncertainty in the conclusions and for consideration of whether or not such gaps should be filled. For all but the higher trophic levels, there is a current lack of knowledge about the diversity of species, either past or present, inhabiting the offshore waters. There is a need for monitoring benthic invertebrate species. There is also very little information on contaminant concentrations in water, sediment or biota that would be used to establish either distributional patterns or trends in space or time. Collectively, these shortcomings are not just symptomatic of the study area but typify many offshore marine ecosystems throughout the world.

For more Information

Contact:

Kenneth Frank
Ocean Science Division
Bedford Institute of Oceanography
Dartmouth, Nova Scotia

Tel: 902-426-3498
Fax: 902-426-6927
E-mail: frankk@mar.dfo-mpo.gc.ca

References

Addison, R.F., and W.T. Stobo. 2000. Trends in organochlorine residue concentrations and burdens in grey seals (*Halichoerus grypus*) from Sable Is., NS, Canada, between 1974 and 1994. Environ. Poll. 112: 505-513.

Bowen, W.D., J.I. McMillan, and R. Mohn. 2003a. Sustained exponential population growth of the grey seal on Sable Island. ICES J. Marine Sci: *In press*.

Bowen, W.D., .S.L. Ellis, S.J. Iverson, and D.J. Boness. 2003b. Maternal and newborn life-history traits during periods of contrasting population trends: implications for explaining the decline of harbour seals, *Phoca vitulina*, on Sable Island. Journal of

Zoology, London: *In press*.

Breeze, H., D.G. Fenton, R.J. Rutherford, and M.A. Silva. 2002. The Scotian Shelf: an ecological overview for ocean planning. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2393.

Coffen-Smout, S., R.G. Halliday, G. Herbert, T. Potter, and N. Witherspoon. 2001. Ocean activities and ecosystem issues on the Eastern Scotian Shelf: an assessment of current capabilities to address ecosystem objectives. CSAS Res. Doc. 2001/095.

Cranford, P.J., K. Lee, J.W. Loder, T.G. Milligan, D.K. Muschenheim, and J. Payne. 2001. Scientific considerations and research results relevant to the review of the 1998 offshore waste treatment guidelines. Can. Tech. Rept. Fish. Aquat. Sci. 2364.

DFO, 2000. State of phytoplankton, zooplankton and krill on the Scotian Shelf in 1998. DFO Science Stock Status Report G3-02 (2000).

DFO, 2003a. Eastern Nova Scotia Snow Crab. DFO Science Stock Status Report 2003/029.

DFO, 2003b. Eastern Scotian Shelf Cod. DFO. Science Stock Status Report. 2003/020.

Fisher, J.A.D., and K.T. Frank 2002. Changes in finfish community structure associated with an offshore fishery closed area on the Scotian Shelf. Mar. Ecol. Prog. Ser. 240: 249-265.

Gowans, S., H. Whitehead, J.K. Arch, and S.K. Hooker. 2000. Population size and residency patterns of northern bottlenose whales (*Hyperoodon ammpullatus*) using the Gully, Nova Scotia. J. Cetacean Res. Manage. 2: 201-210.

Harley, S.J., R. Myers, N. Barrowman, K. Bowen, and R. Amiro. 2001. Estimation of research trawl survey catchability for biomass reconstruction of the eastern Scotian Shelf. CSAS Res. Doc. 2001/084.

Link, J.S., J.K.T. Brodziak, S.F. Edwards, W.J. Overholtz, D. Mountain, J.W. Jossi, T.D. Smith, and M.J. Fogarty. 2002. Marine ecosystem assessment in a fisheries management context. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 59: 1429-1440.

Lucas, Z., and W.T. Stobo. 2000. Shark-inflicted mortality on a population of harbour seals (*Phoca vitulina*) at Sable Island, Nova Scotia. Journal of Zoology, London 252: 405-414.

Mohn, R., and W.D. Bowen. 1996. Grey seal predation on the eastern Scotian Shelf: modelling the impact on Atlantic cod. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 2722-2738.

Mohn, R.K., and J.E. Simon. 2002. Biological information relevant to the management of 4TVW haddock. CSAS Res. Doc. 2002/102.

Pauly, D., V. Chrisensen, J. Dalsgaard, R. Froese, and F.C. Torres, Jr. 1998. Fishing down marine food webs. Science 279: 860-863.

Thompson, D.H., J.W. Lawson, and A. Muecke. 2001. Proceedings of a workshop to develop methodologies for conducting research on the effects of seismic exploration on the Canadian east coast fishery, Halifax, Nova Scotia, 7-8 Sept. 2000. Environmental Studies Research Funds Rep. No. 139. Calgary.

Zwanenburg, K., D. Bowen, A. Bundy, K. Drinkwater, K.T. Frank, R.N. O'Boyle, D. Sameoto, and M. Sinclair. 2002. Decadal changes in the Scotian Shelf large marine ecosystem, pp. 105-150. *In*:

K. Sherman and H.R. Skjoldal. (eds.). Large marine ecosystems of the North Atlantic: Changing states and sustainability. Elsevier.

Zwanenburg, K.C.T., 2003. The Scotian Shelf. In: Large Marine Ecosystems of the World - Trends in Exlpoitation, Protection, and Research. G. Hempel and K. Sherman [Eds.]. pp 75-91. Elsevier, New York: *In press*.

This report is available from the:

Maritime Provinces
Regional Advisory Process
Fisheries and Oceans Canada
P.O. Box 1006, Stn. B203
Dartmouth, Nova Scotia
Canada B2Y 4A2

Phone number: 902-426-7070
Fax Number: 902-326-5435
e-mail address: myrav@mar.dfo-mpo.gc.ca
Internet address: www.dfo-mpo.gc.ca/csas

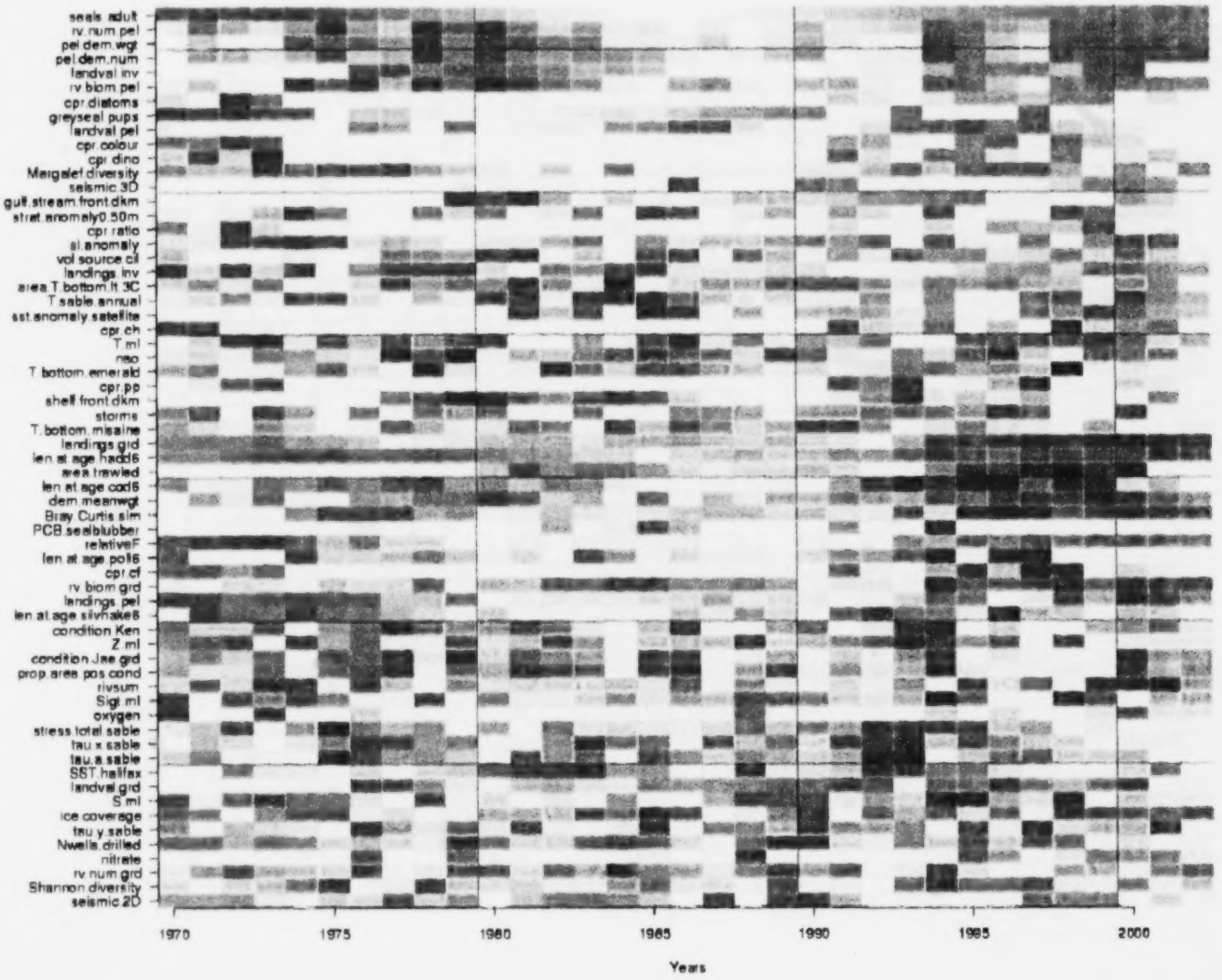
ISSN 1480-4913
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2003

La version française est disponible à l'adresse ci-dessus.

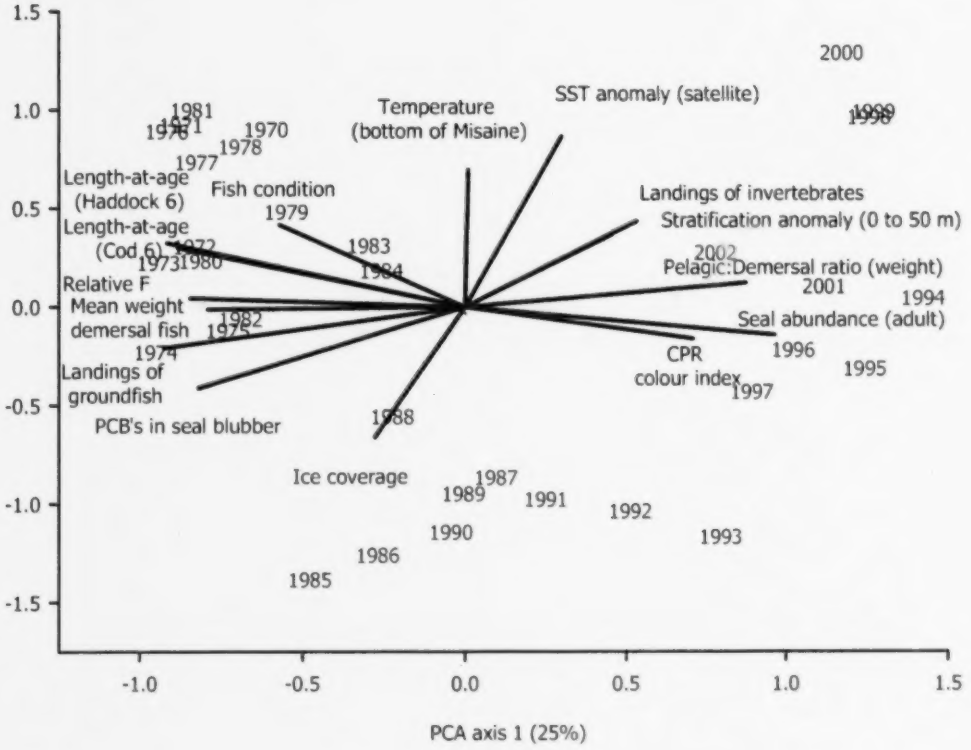
Correct citation for this publication:

DFO, 2003. State of the Eastern Scotian Shelf Ecosystem. DFO Ecosystem Status Report 2003/004.

Appendix Table 1. The color table on the next page shows the 64 metrics grouped according to the similarity of their changes from year-to-year. The variables from top to bottom are grey seal abundance, pelagic fish abundance (numbers), pelagic:demersal fish ratio (based on numbers), landed value of invertebrate fisheries, biomass of pelagics, diatom abundance, grey seal pups, landed value of pelagics, colour (greenness index), dinoflagellates, fish diversity (richness), 3D seismic (km^2), position of Gulf Stream, stratification anomaly, ratio of diatoms:dinoflagellates, sea level anomaly, volume of CIL source water, invertebrate landings, area of bottom < 3° C, Sable Island winds (Tau component), SST anomaly (satellite), chlorophyll, temperature of the mixed layer, NAO, bottom temperature at Emerald Basin, Para and Pseudo-calanus abundance, shelf-slope front position, storm index, bottom temperature at Misaine, groundfish landings, length-at-age (haddock), bottom area trawled (vessels > 150t GRT), length-at-age (cod), average weight of an individual from RV survey, fish community similarity index (Bray-Curtis), PCB in seal blubber, relative F of groundfish, length-at-age (pollock), *Calanus finmarchicus*, groundfish RV biomass, pelagic landings, length-at-age (silver hake), community condition (based on predicted weight at length), mixed layer depth (Z), community condition index (based on residuals from population length-weight relationship), proportion of area with fish in good condition, RIVSUM, sigma-t in mixed layer, oxygen (below 150 m), wind stress (total), wind stress (x-direction), wind stress amplitude, SST at Halifax, landed value of groundfish, salinity in mixed layer, ice coverage, wind stress (tau), number of wells drilled, nitrate (below 150 m), groundfish abundance (numbers), Shannon diversity index for fish, seismic 2D (km).


seals.adult
rv.num.pel
pel.dem.wgt
pel.dem.num
landval.inv
rv.biom.pel
cpr.diatoms
greyseal.pups
landval.pel
cpr.colour
cpr.dino
Margalef.diversity
seismic.3D
gulf.stream.front.dkm
strat.anomaly0.50m
cpr.ratio
si.anomaly
vol.source.oil
landings.inv
area.T.bottom.lt.3C
T.sable.annual
sst.anomaly.satellite
cpr.ch
T.ml
nao
T.bottom.emerald
cpr.pp
shelf.front.dkm
storms
T.bottom.misaine
landings.grd
len.at.age.had6
area.trawled
len.at.age.cod6
dem.meanwgt
Bray.Curtis.sim
PCB.sealblubber
relativeF
len.at.age.pol6
cpr.cf
rv.biom.grd
landings.pel
len.at.age.silvhake6
condition.Ken
Z.ml
condition.Jae.grd
prop.area.pos.cond
rivsum
Sigt.ml
oxygen
stress.total.sable
tau.x.sable
tau.a.sable
SST.halifax
landval.grd
S.ml
ice.coverage
tau.y.sable
Nwells.drilled
nitrate
rv.num.grd
Shannon.diversity
seismic.2D
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
Years

Appendix Figure 1. Principal component analysis showing the first two principal components with loading from the various metrics in the model. Note that only a subset of the total number of metrics used in the analysis are shown.



Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada
Science | Sciences

Région des Maritimes | Rapport sur l'état des écosystèmes 2003/004

État de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais

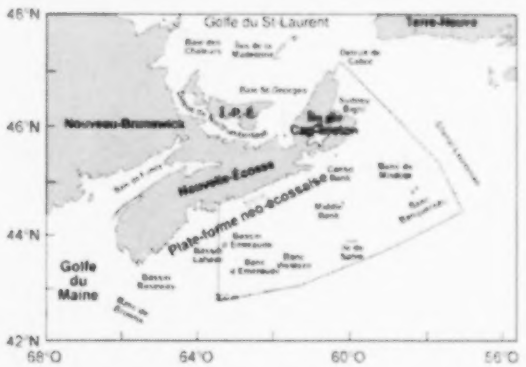
Renseignements de base

L'est du plateau néo-écossais, qui englobe les divisions 4VW de l'OPANO, est une vaste région géographique (~ 108 000 km^2) soumise à un large éventail d'activités océaniques, comme les pêches, la prospection et l'exploitation du gaz et du pétrole et le transport maritime. Il est actuellement l'objet d'un processus d'élaboration d'un plan de gestion intégrée visant à harmoniser la conduite des diverses activités océaniques qui y sont menées (appelé Gestion intégrée de l'est du plateau néo-écossais ou GIEPNE). Cette région est unique du fait que la pêche dirigée du poisson de fond est interdite toute l'année depuis 1987 sur les bancs d'Émeraude et Western et que le Gully a été désigné comme une zone de protection marine pilote.

L'est du plateau néo-écossais se compose d'une série de bancs extérieurs peu profonds et de bassins intérieurs séparés par des goulets et des chenaux. La circulation moyenne en surface tend vers le sud-ouest; elle émane en grande partie du golfe du Saint-Laurent, étant surtout anticyclonique sur les bancs et cyclonique dans les bassins. Le secteur nord-est du plateau constitue la limite sud de la glace d'hiver dans l'Atlantique.

Est évalué dans le présent document l'état actuel de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais. L'accent est mis sur les tendances temporelles dans toutes les séries de données disponibles sur trois catégories de facteurs : biotiques, abiotiques et humains. Les facteurs biotiques donnent généralement de l'information sur l'abondance et la distribution des poissons, des invertébrés, du phytoplancton, du zooplancton et des mammifères marins et la composition de leurs communautés, les facteurs abiotiques comprennent des données océaniques et atmosphériques qui permettent de comprendre le climat océanique. Les facteurs humains englobent les prises de poisson, les revenus de pêche, les activités liées au développement du secteur du gaz et du pétrole et les contaminants. La présente évaluation repose sur quelque 60 séries de données, dont la plupart commencent au moins en 1970. Mais on n'a pas de vue d'ensemble de l'écosystème à son état vierge.

Le présent rapport a été préparé par un groupe de travail qui a compilé et analysé diverses données pertinentes à l'évaluation de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais. Plusieurs employés du MPO, des membres d'industries et des évaluateurs indépendants y ont aussi contribué par le biais du Processus de consultation régionale (PCR) du Ministère.



Sommaire

L'écosystème de l'est du plateau néo-écossais a connu de profonds changements au cours des trois dernières décennies, notamment :

- Les eaux de fond ont connu un refroidissement marqué au milieu des années 1980; cette situation a perduré durant une décennie. En outre, une stratification marquée de la couche superficielle a récemment été observée. Ces deux phénomènes sont imputables à l'arrivée d'eau provenant de régions en amont.
- L'indice d'abondance du zooplancton était faible pendant les années 1990 alors que le phytoplancton était abondant; l'inverse était évident pendant les années 1960 et au début des années 1970.
- D'importants changements se sont produits dans la structure de la communauté des poissons. Ainsi, l'abondance des poissons de fond a diminué tandis que l'abondance des petites espèces pélagiques et des invertébrés pêchés commercialement a augmenté.
- Les changements qu'a connu le milieu physique étaient associés à l'expansion de l'aire de répartition de quelques espèces et à l'arrivée d'espèces nouvelles dans le secteur.
- La longueur moyenne des poissons de fond a diminué. Il existe très peu de

État de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais

Renseignements de base

L'est du plateau néo-écossais, qui englobe les divisions 4VW de l'OPANO, est une vaste région géographique (~ 108 000 km²) soumise à un large éventail d'activités océaniques, comme les pêches, la prospection et l'exploitation du gaz et du pétrole et le transport maritime. Il est actuellement l'objet d'un processus d'élaboration d'un plan de gestion intégrée visant à harmoniser la conduite des diverses activités océaniques qui y sont menées (appelé Gestion intégrée de l'est du plateau néo-écossais ou GIEPNE). Cette région est unique du fait que la pêche dirigée du poisson de fond est interdite toute l'année depuis 1987 sur les bancs d'Emeraude et Western et que le Gully a été désigné comme une zone de protection marine pilote.

L'est du plateau néo-écossais se compose d'une série de bancs extérieurs peu profonds et de bassins intérieurs séparés par des goulets et des chenaux. La circulation moyenne en surface tend vers le sud-ouest; elle émane en grande partie du golfe du Saint-Laurent, étant surtout anticyclonique sur les bancs et cyclonique dans les bassins. Le secteur nord-est du plateau constitue la limite sud de la glace d'hiver dans l'Atlantique.

Est évalué dans le présent document l'état actuel de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais. L'accent est mis sur les tendances temporelles dans toutes les séries de données disponibles sur trois catégories de facteurs : biotiques, abiotiques et humains. Les facteurs biotiques donnent généralement de l'information sur l'abondance et la distribution des poissons, des invertébrés, du phytoplancton, du zooplancton et des mammifères marins et la composition de leurs communautés, les facteurs abiotiques comprennent des données océaniques et atmosphériques qui permettent de comprendre le climat océanique. Les facteurs humains englobent les prises de poisson, les revenus de pêche, les activités liées au développement du secteur du gaz et du pétrole et les contaminants. La présente évaluation repose sur quelque 60 séries de données, dont la plupart commencent au moins en 1970. Mais on n'a pas de vue d'ensemble de l'écosystème à son état vierge.

Le présent rapport a été préparé par un groupe de travail qui a compilé et analysé diverses données pertinentes à l'évaluation de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais. Plusieurs employés du MPO, des membres d'industries et des évaluateurs indépendants y ont aussi contribué par le biais du Processus de consultation régionale (PCR) du Ministère.

Sommaire

L'écosystème de l'est du plateau néo-écossais a connu de profonds changements au cours des trois dernières décennies, notamment :

- Les eaux de fond ont connu un refroidissement marqué au milieu des années 1980; cette situation a perduré durant une décennie. En outre, une stratification marquée de la couche superficielle a récemment été observée. Ces deux phénomènes sont imputables à l'arrivée d'eau provenant de régions en amont.
- L'indice d'abondance du zooplancton était faible pendant les années 1990 alors que le phytoplancton était abondant; l'inverse était évident pendant les années 1960 et au début des années 1970.
- D'importants changements se sont produits dans la structure de la communauté des poissons. Ainsi, l'abondance des poissons de fond a diminué tandis que l'abondance des petites espèces pélagiques et des invertébrés pêchés commercialement a augmenté.
- Les changements qu'a connu le milieu physique étaient associés à l'expansion de l'aire de répartition de quelques espèces et à l'arrivée d'espèces nouvelles dans le secteur.
- La longueur moyenne des poissons de fond a diminué. Il existe très peu de

gros individus à l'heure actuelle, ce qui ne s'est probablement jamais produit par le passé.
- La condition et la croissance de plusieurs espèces de poissons de fond sont demeurées à un niveau faible pendant la dernière décennie, contrairement à ce que l'on s'attendait.
- L'abondance du phoque gris a augmenté régulièrement pendant les quatre dernières décennies. Il se peut que la population ait doublé depuis le dernier relevé, effectué en 1997, pour atteindre quelque 225 000 bêtes en 2002.
- Il n'est pas encore possible de prédire comment longtemps la situation actuelle perdurera et si le système reviendra ou non à son état antérieur, où les poissons de fond dominaient.

En ce qui concerne les principales activités humaines menées dans l'est du plateau néo-écossais, les observations suivantes s'appliquent :
- La pêche cible de plus en plus des espèces trouvées à des niveaux inférieurs de la chaîne alimentaire parce que les poissons de fond, trouvés à des niveaux supérieurs, sont peu abondants.
- L'exploration et l'exploitation pétrolières et gazières ont connu des pics et des creux marqués au fil des ans, quoique ces activités soient à la hausse à l'heure actuelle.
- Trop peu de données ont été diffusées sur les teneurs en contaminants dans l'eau, les sédiments et le biote de ce secteur pour pouvoir établir les schémas ou les tendances de distribution dans l'espace ou le temps.
- Lorsque l'ensemble de ces sources de perturbations est considéré, les effets cumulatifs potentiels sont nettement préoccupants.

Une évaluation d'une telle grande portée met facilement en lumière le manque de données.
- Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la base de la chaîne alimentaire, les données sur la diversité des espèces sont de plus en plus rares. Il faudrait en particulier mener des études sur les invertébrés benthiques et les contaminants.

Introduction

Divers développements récents sont à l'origine du présent rapport. L'écosystème de l'est du plateau néo-écossais connaissant divers problèmes, un processus de planification pour la gestion intégrée de ce secteur, appelé GIEPNE, est actuellement en cours. Le plan de gestion qui en résultera inclura des objectifs de conservation reliés à la diversité biologique et à la productivité. Les résultats qu'il donnera pourraient être jugés dans un avenir rapproché en regard d'un rapport de structure semblable à celui-ci. Des objectifs de conservation plus généraux doivent être incorporés dans les plans de gestion des pêches. La masse de données toujours croissante provenant de divers programmes de surveillance doit être continuellement fusionnée et synthétisée. La présente analyse s'appuie sur une première synthèse faite par Zwanenburg *et al.* (2002).

En bout de ligne, un rapport comme celui-ci peut être considéré comme un moyen de mesurer le succès de plans de gestion écosystémique tout en étant une évaluation de l'état de l'écosystème. Ce dernier aspect est le thème du présent rapport, qui met en lumière les principaux changements et tendances de diverses caractéristiques de l'écosystème. L'évaluation ne couvrant pas les eaux littorales (à l'exception des prises et des revenus de pêche), elle ne vise que les eaux hauturières.

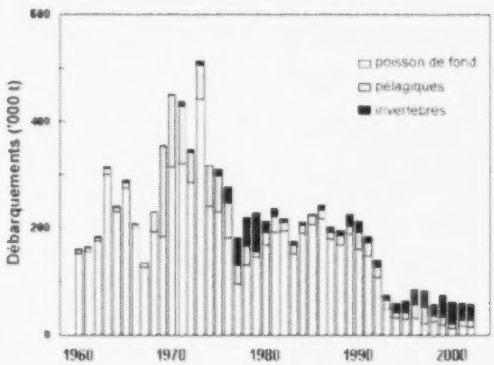
Prises de poisson et revenus de pêche, développement du secteur du gaz et du pétrole, contaminants

L'évaluation portera en premier sur les facteurs humains. Trois catégories d'utilisations sont examinées, y compris les pêches, le développement du secteur du gaz et du pétrole et les contaminants. Elles constituent fréquemment les principales perturbations agissant sur les écosystèmes du plateau continental, et l'est du plateau néo-écossais n'y fait pas exception. Par exemple, la surexploitation a été l'un des facteurs qui a contribué à l'effondrement des stocks de morue et d'aiglefin au début des années 1990, qui ont par la suite été assujettis à un moratoire sur la pêche. De telles activités humaines peuvent modifier la structure des communautés biologiques par des impacts directs sur l'espèce-cible ainsi que sur celles qui en dépendent au niveau écologique.

Parmi les autres activités qui peuvent avoir eu des incidences sur l'écosystème de la zone à l'étude s'inscrivent la navigation commerciale, les opérations navales, les recherches gouvernementales, l'immersion de déchets en mer, les câbles sous-marins et les pipelines. Ces activités ne sont pas couvertes dans le présent rapport parce que la série de données est relativement courte ou qu'il n'en existe aucune. Coffen-Smout *et al.* (2001) ont examiné certaines de ces activités océaniques et leurs impacts.

Prises de poisson et revenus de pêche

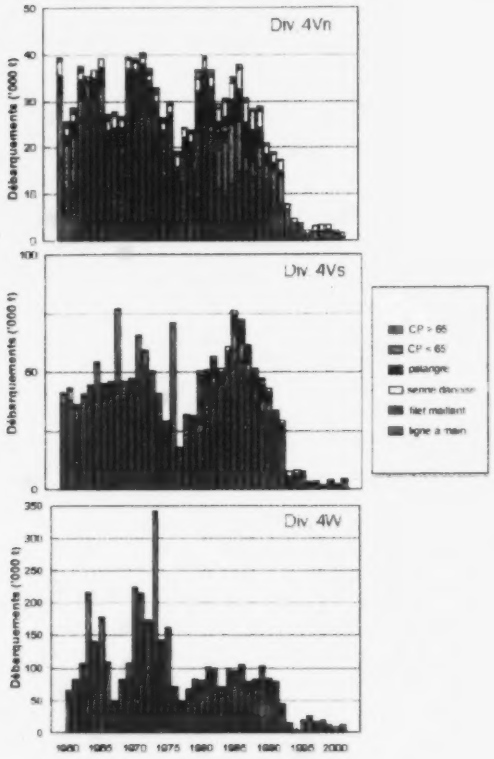
Les données sur les prises récoltées dans l'est du plateau néo-écossais révèlent des pics à la fin des années 1960 et au début des années 1970, soit lorsque des flottilles étrangères pêchaient dans la région. Les prises totales étaient relativement stables dans les années 1980, mais elles étaient inférieures aux pics historiques. Au début des années 1990, elles ont atteint des creux sans précédent à la suite de l'effondrement des stocks de morue et d'aiglefin. Les taux d'exploitation de la morue étaient particulièrement élevés avant ce désastre. Le poisson de fond prédominait dans les débarquements dans presque toute la série de données. Toutefois, les débarquements d'invertébrés, à la hausse depuis le milieu des années 1980, ont délogé le poisson de fond de la tête de liste des débarquements en 1996. Les débarquements de pélagiques ont atteint un pic à la fin des années 1960 et au début des années 1970; ils sont présentement faibles.



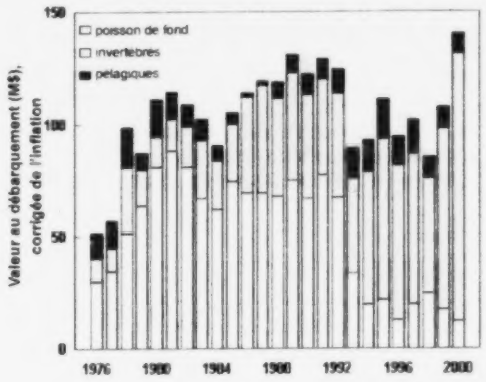
Zwanenburg (2003) présente des estimations des prises passées sur le plateau néo-écossais remontant au début des années 1770. À ce moment-là, les prises de poisson de fond et de pélagiques étaient de l'ordre de 10 000 t par an. Au début des années 1800, les prises de poisson de fond atteignaient presque 50 000 t; elles sont demeurées à ce niveau jusqu'au début des années 1900, lorsque le total annuel allait de 100 000 à 200 000 t. Les niveaux d'exploitation passés étaient donc relativement faibles par rapport à ces dernières années.

Les données sur les prises de poisson de fond par zone de gestion et type d'engin révèlent que la division 4W a alimenté des prises moyennes par décennie de deux à cinq fois plus élevées que les sous-divisions 4Vs et 4Vn et que le chalut à panneaux était l'engin le plus fructueux dans toutes les zones. Les prises aux engins fixes constituaient généralement moins de 10 %

des prises totales dans chaque zone, à l'exception de la division 4Vn, où elles en constituaient 20 %. De l'information spatiale détaillée sur les prises commerciales n'est généralement pas disponible pour la période avant 1990.



La valeur totale des prises au débarquement a augmenté de la façon la plus spectaculaire entre 1977 et 1978, en étroite concordance avec l'extension de la zone de compétence jusqu'à 200 milles. Tout au long des années 1980 et au début des années 1990, la valeur au débarquement se chiffrait généralement à plus de 100 millions de dollars par année mais elle a chuté sous ce niveau en 1993 lorsque la pêche dirigée de la morue et de l'aiglefin a été interdite. Elle a par la suite atteint un pic d'un peu plus de 140 millions de dollars en 2000. Toutes les valeurs ont été corrigées pour tenir compte de l'inflation et sont exprimées en dollars de 2002.

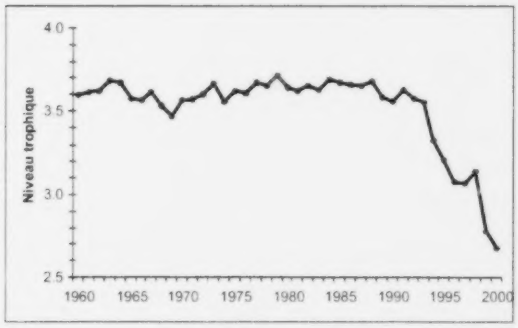


En 1980, 1990 et 2000, la contribution en pourcentage du poisson de fond à la valeur totale au débarquement atteignait 73, 55 et 9 % respectivement. Par contraste, la valeur des pêches d'invertébrés a grimpé en flèche, passant de 12 à 38 à 85 %. La valeur des pêches de pélagiques ne montrait aucune tendance, variant entre 8 et 15 %. Le homard, le crabe des neiges et la crevette nordique étaient les principales espèces d'invertébrés à l'origine de l'augmentation des revenus pour ce secteur, le crabe des neiges et la crevette nordique étant l'objet d'une pêche grandement élargie dans les dernières années. Les prises de ces deux espèces ont atteint des pics de 10 000 t et de 5 400 t respectivement en 2000. Dans l'est du plateau néo-écossais, les invertébrés et non le poisson constituent maintenant de loin les pêches commerciales les plus rentables. La pêche de ces invertébrés a permis d'assurer des revenus dans cette région et d'éventuellement les accroître malgré le repli de la pêche traditionnelle du poisson de fond.

Plusieurs pêches nouvelles ont été développées depuis l'effondrement des stocks de poisson de fond au début des années 1990. Parmi les espèces-cibles s'inscrivent la mactre de Stimpson, dont les prises ont atteint un pic de 24 950 t en 1999, la raie tachetée, dont les prises ont atteint un pic de 2 200 t en 1994 et diverses espèces de crabes (crabe araignée, crabe commun et crabe rouge) alimentant des

pêches de moins de 300 t. La plupart de ces espèces sont des proies du poisson de fond, tandis que certaines proviennent d'ailleurs, ayant élargi leur aire de répartition, comme le crabe des neiges, qui se situe à la limite sud de l'aire de répartition de l'espèce, ce qui signifie que sa présence dans l'est du plateau néo-écossais est peut-être temporaire.

Le changement qui s'est produit dans la composition moyenne des prises au fil du temps s'est reflétée dans plusieurs autres systèmes de pêche, ce que l'on appelle « pêcher en descendant la chaîne alimentaire ». Cela se produit lorsque le niveau trophique moyen des prises baisse au fil du temps et que les prises totales diminuent (Pauly *et al.*, 1998). Dans l'est du plateau néo-écossais, le niveau trophique moyen (position dans la chaîne alimentaire) des prises de toutes les espèces était relativement stable jusqu'à la fin des années 1980. Il a diminué par la suite, pour passer d'une moyenne de 3,6 à un creux de 2,7 en 2000. Cela est inquiétant car les prises totales dans l'est du plateau néo-écossais ont aussi diminué. La carence en poisson de fond s'est produite aux niveaux trophiques supérieurs de l'écosystème, ce qui fait que la pêche cible maintenant de plus en plus des espèces constituant les niveaux inférieurs de la chaîne alimentaire.

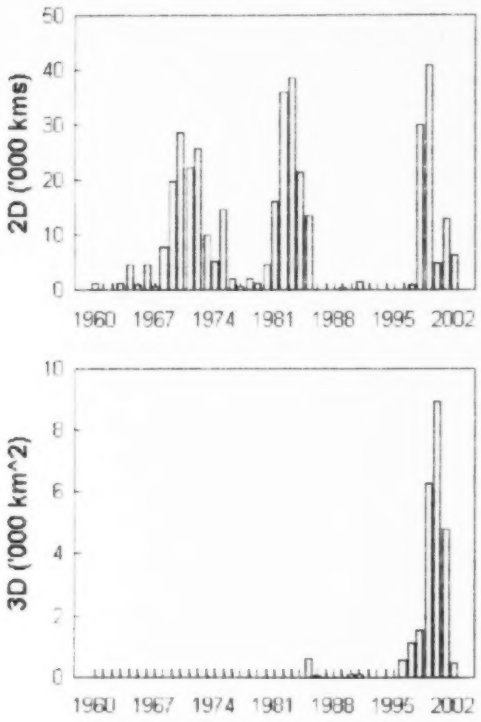


Deux grandes régions géographiques de l'est du plateau néo-écossais ont été l'objet d'une considération spéciale au cours des dernières années. En 1987, la pêche aux engins mobiles a été interdite toute l'année sur les bancs d'Émeraude et Western, d'une superficie totale de 13 700 km^2, afin de protéger les juvéniles de l'aiglefin et de permettre au stock de se rétablir. L'interdiction de pêche a été élargie en 1993 de sorte à inclure les pêches dirigées du poisson de fond aux engins fixes; cette mesure de gestion est encore en vigueur. Le stock d'aiglefin résidant se rétablit lentement, bien que cela ne puisse être entièrement attribué à la fermeture de la pêche. On a toutefois documenté l'arrivée d'aiglefins et d'autres espèces provenant de la zone fermée dans les zones voisines (Fisher et Frank, 2002). Le Gully (superficie = 2 360 km^2) est un grand canyon sous-marin unique séparant le banc de l'île de Sable du Banquereau. Constitué d'une gamme de types d'habitat, il abrite une population en péril de la baleine à bec commune. Il a été désigné comme un projet pilote dans le programme des zones de protection marines du MPO.

Prospection et exploitation des hydrocarbures

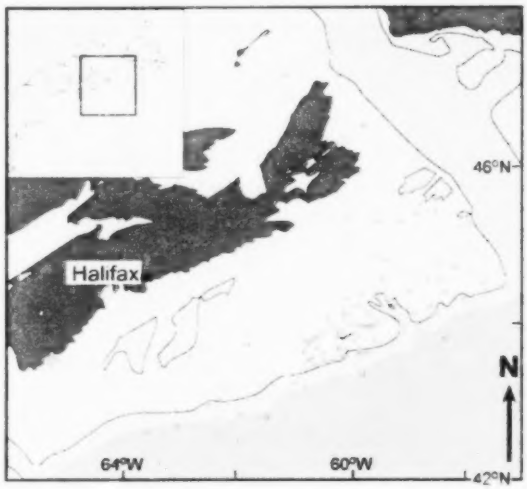
On peut caractériser le régime d'utilisation du plateau néo-écossais par l'industrie pétrolière comme étant marqué par des périodes d'intérêt intense et de grands investissements suivies d'un repli des activités. La prospection se fait par levés sismiques, qui permettent de déceler les gisements de pétrole sous le plancher océanique; un canon à air libère brutalement dans l'eau de l'air comprimé qui produit un signal acoustique de plus de 250 décibels. La superficie prospectée a connu des pics au début des années 1970, au début des années 1980 et à la fin des années 1990. Quelque 385 000 km de terrain ont été couverts lors de levés 2D et presque 25 000 km^2 lors de levés 3D. Les deux méthodes diffèrent par la distance entre les profils sismiques; les lignes de levés 3D étant beaucoup plus rapprochées, ce qui donne une structure spatiale de haute résolution sans qu'il soit nécessaire de faire une interpolation. Au total, environ 168 millions de dollars ont été investis entre

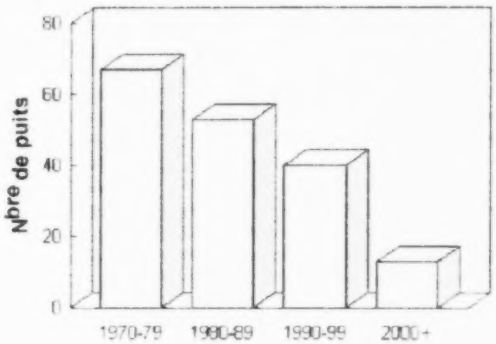
1967 et 1997 dans la réalisation de ces levés.



Les levés sismiques peuvent avoir des incidences néfastes sur les poissons, les invertébrés, les mammifères marins et les tortues marines. Mais les scientifiques ne savent pas quels sont les effets immédiats et cumulatifs des programmes de levés sismiques se chevauchant dans le temps et l'espace sur le plateau néo-écossais. Les levés sismiques effectués à l'heure actuelle dans l'est du plateau chevauchent l'aire de répartition connue d'espèces menacées et en danger de disparition. Des recherches sur leurs incidences sur la baleine à bec commune sont actuellement en cours. L'effet de telles activités sur les relevés de navire de recherche étant une source de préoccupations, un protocole est en voie d'être élaboré qui exigera que les levés sismiques soient effectués de 30 à 40 km plus loin.

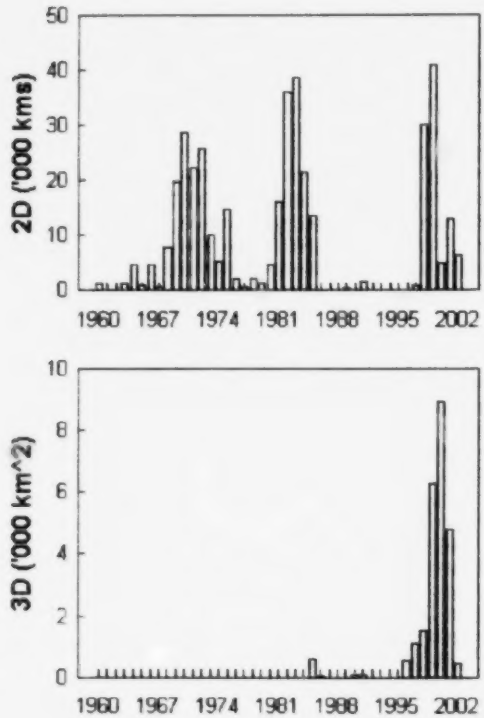
Chacun des pics des activités de levés sismiques a été suivi d'une augmentation des activités de forage. Au total, 188 puits ont été forés sur le plateau néo-écossais, au coût de presque 5 milliards de dollars. La plupart de ces puits appartiennent à la catégorie des puits d'exploration et quelques-uns sont des puits de développement (couverts plus loin). Le forage a principalement lieu aux environs de l'île de Sable.





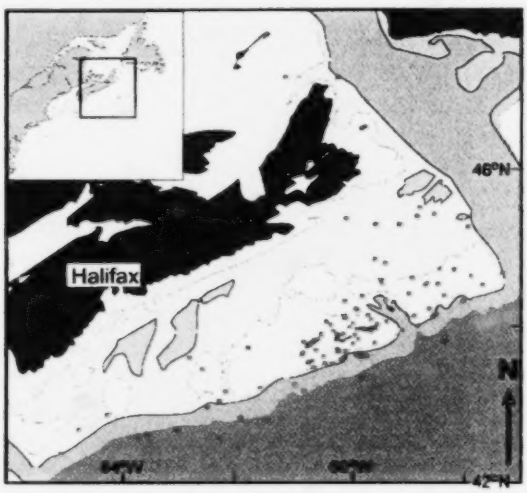
La durée de vue de la plupart des puits forés est relativement courte, soit moins de trois mois. L'industrie connaît actuellement une période de prospection active, le but étant de faire de la prospection dans les eaux profondes du talus.

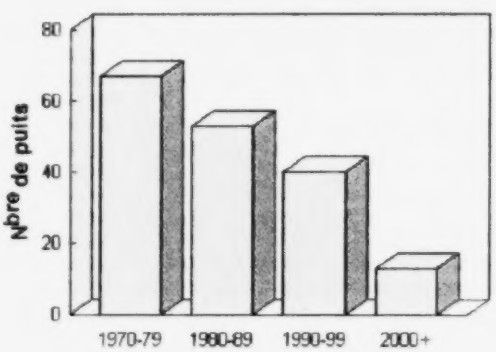
1967 et 1997 dans la réalisation de ces levés.



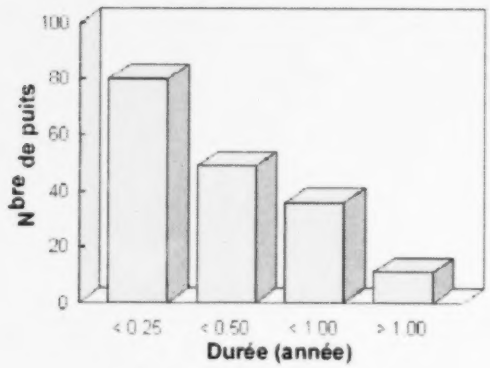
Les levés sismiques peuvent avoir des incidences néfastes sur les poissons, les invertébrés, les mammifères marins et les tortues marines. Mais les scientifiques ne savent pas quels sont les effets immédiats et cumulatifs des programmes de levés sismiques se chevauchant dans le temps et l'espace sur le plateau néo-écossais. Les levés sismiques effectués à l'heure actuelle dans l'est du plateau chevauchent l'aire de répartition connue d'espèces menacées et en danger de disparition. Des recherches sur leurs incidences sur la baleine à bec commune sont actuellement en cours. L'effet de telles activités sur les relevés de navire de recherche étant une source de préoccupations, un protocole est en voie d'être élaboré qui exigera que les levés sismiques soient effectués de 30 à 40 km plus loin.

Chacun des pics des activités de levés sismiques a été suivi d'une augmentation des activités de forage. Au total, 188 puits ont été forés sur le plateau néo-écossais, au coût de presque 5 milliards de dollars. La plupart de ces puits appartiennent à la catégorie des puits d'exploration et quelques-uns sont des puits de développement (couverts plus loin). Le forage a principalement lieu aux environs de l'île de Sable.





La durée de vue de la plupart des puits forés est relativement courte, soit moins de trois mois. L'industrie connaît actuellement une période de prospection active, le but étant de faire de la prospection dans les eaux profondes du talus.



Deux projets d'exploitation des hydrocarbures extracôtiers ont été mis en oeuvre : CoPan (maintenant abandonné) et SOEP (trois sites déjà exploités et au moins deux autres en voie de l'être). On s'attend à ce que ce dernier projet dure au moins 20 ans. Des programmes de surveillance des incidences environnementales de ces deux projets ont été conçus et exécutés par l'industrie. Une gamme de déchets provenant des opérations de prospection et d'exploitation des hydrocarbures nuisent aux organismes marins; des lignes directrices sur le déversement de ces déchets ont été élaborées et appliquées en vue d'éliminer et/ou de minimiser les incidences néfastes. Les incidences connues des résidus de forage semblent relativement mineures et limitées aux eaux en deçà de quelques kilomètres des plates-formes. On s'attend toutefois à ce que le problème de l'eau extraite des puits devienne préoccupant à l'avenir. La vulnérabilité très marquée du pétoncle géant aux résidus de forage continue aussi à préoccuper (Cranford *et al.*, 2001).

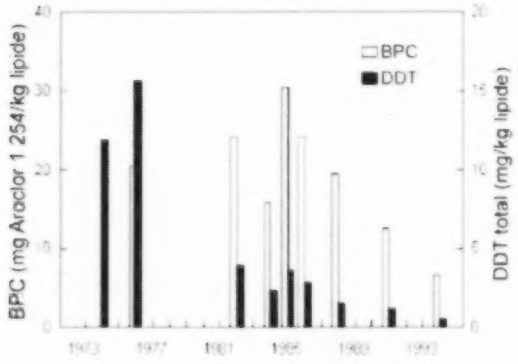
Contaminants

Très peu de données publiées sur les teneurs en contaminants dans les eaux, les sédiments et le biote de l'est du plateau néo-écossais peuvent être utilisées pour établir les schémas ou les tendances de distribution des contaminants dans l'espace ou le temps. Les données recueillies au cours de la dernière décennie proviennent de relevés des concentrations de métaux dans les eaux et les sédiments, d'évaluations et de surveillance des concentrations extracôtières de métaux et d'hydrocarbures dans les sédiments et le biote et d'études des teneurs en composés organochlorés chez les phoques de l'île de Sable.

Les données sur les métaux permettent d'estimer la distribution spatiale des contaminants dans l'est du plateau néo-écossais. Les échantillons de sédiments prélevés dans les bassins de l'est et du centre du plateau révèlent que les plus fortes teneurs en arsenic (As), en cadmium (Cd), en cuivre (Cu), en plomb (Pb) et en mercure (Hg) sont retrouvées à l'est. Les teneurs en métaux dissous, établies lors de trois croisières effectuées entre 1985 et 1997, montrent un même gradient allant du nord-est au sud-ouest dans le cas du cuivre. Cet élément est probablement celui qui est le plus préoccupant au plan écologique car c'est un algicide reconnu, toxique pour certaines espèces de plancton à des concentrations légèrement supérieures aux concentrations naturelles. Les concentrations en cuivre dissous et la salinité sont corrélées négativement, ce qui indique l'importance de l'apport d'eau douce comme source de cuivre. Dans le cas des autres métaux, d'autres sources (apport atmosphérique dans le cas de Pb, eaux hauturières dans le cas de Cd, etc.) contribuent aussi aux distributions observées. Par contre, pour tous les métaux, les distributions reflètent les apports provenant de sources naturelles et anthropiques. Ces trois séries de données ne révèlent toutefois aucune tendance temporelle des teneurs en métaux dissous.

L'étude menée par Addison et Stobo (2001) sur les teneurs en contaminants organochlorés chez les phoques gris de l'île de Sable est la seule preuve de tendances dans les teneurs en contaminants au fil du temps pour l'est du plateau néo-écossais. Cette étude, qui couvre la période entre

1976 et 1995, révèle que les teneurs en DDT et en DDE dans le petit lard des phoques adultes ont diminué au cours de la période couverte et que la teneur en BPC a augmenté de 1974 à 1985 pour ensuite diminuer. L'utilisation industrielle de ces produits chimiques a fléchi durant cette période et ces tendances reflètent le succès de la réglementation. Ces chercheurs ont aussi observé des baisses moins marquées des teneurs en oxychlordane, en alpha-hexachlorocyclohexane et en trans-nonachlor, tous des pesticides. D'autre part, la teneur en hexachlorocyclobenzène n'a pas beaucoup diminué. Les autres séries de données sur les contaminants présents dans le biote étant très limitées au plan de leur portée, elles ne permettent pas d'établir s'il existe des tendances spatiales ou temporelles.



Effets cumulatifs

Les effets cumulatifs et/ou synergiques dans l'espace et le temps de l'ensemble des sources de perturbation et des activités (bruit, contaminants et perturbations physiques) sont nettement préoccupantes car ils peuvent avoir des incidences graves. Il est impératif que les effets cumulatifs des activités humaines sur l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais soient étudiés, les recherches et les activités de surveillance en cours ne portant que sur les incidences d'activités individuelles. Par exemple, outre les levés sismiques, la navigation commerciale, les opérations navales, les installations de forage et l'industrie de la pêche perturbent fortement l'écosystème du plateau néo-écossais au niveau acoustique.

Océanographie physique

On sait depuis longtemps que la variabilité environnementale influe sur la distribution et l'abondance des organismes marins. La température est reconnue pour ses effets sur la croissance et la maturation de la plupart des poissons et des invertébrés. Le moment du déclenchement de la poussée phytoplanctonique au printemps et sa durée, modulés par des facteurs physiques et chimiques, peuvent avoir une incidence sur la survie des premiers stades du cycle vital d'une gamme d'espèces car la variabilité des modes de circulation des eaux peut modifier leurs régimes de dérive et leurs voies de migration. Collectivement, l'environnement constitue un milieu variable où les espèces évoluent et s'adaptent. Par contre, de nombreux évènements environnementaux sont imprévisibles, comme l'arrivée soudaine de masses d'eau, des tempêtes violentes ou des changements constants dans les régimes de température ou de salinité.

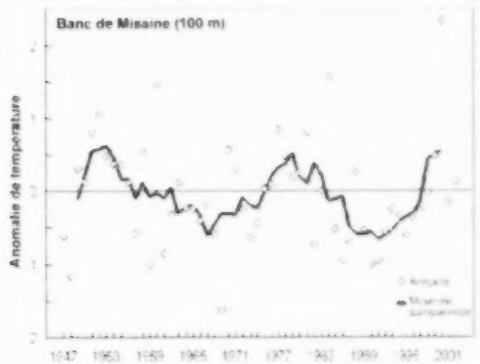
La température et la salinité de l'eau sur le plateau néo-écossais varient dans l'espace à cause de la topographie complexe du fond, l'advection émanant de sources en amont, comme le golfe du Saint-Laurent et les Bancs de Terre-Neuve, la fonte de la glace de mer au printemps, les flux océan-atmosphère locaux et l'échange avec les eaux hauturières adjacentes du talus. L'écart de température saisonnière à la surface dans l'est du plateau néo-écossais est au-dessus de 16 °C, soit l'un des plus marqués dans tout l'Atlantique. Cet écart diminue presque exponentiellement selon la profondeur, les changements aux profondeurs supérieures d'environ 150 m étant presque négligeables.

En hiver, la colonne d'eau dans le secteur sud-ouest de l'est du plateau néo-écossais est composée de deux couches. La couche supérieure, qui s'étend jusqu'à 100 m et plus,

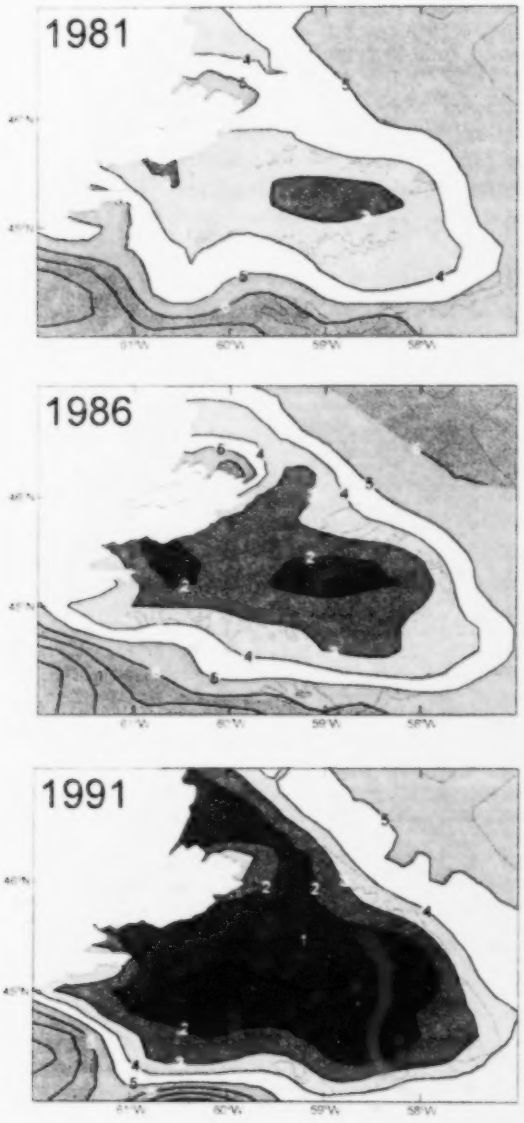
est mélangée par les vents d'hiver et contient des eaux froides de faible salinité. Les eaux de la couche inférieure, relativement chaudes et salées, proviennent des eaux hauturières du talus, d'où elles pénètrent dans l'est du plateau par le biais de la cuvette profonde gisant entre les bancs d'Émeraude et de La Have. En été, le reste des eaux refroidies par l'hiver sont prises en sandwich entre la couche supérieure réchauffée par le soleil (de 30 à 40 m d'épaisseur) et les eaux de fond plus chaudes. Cette couche d'eau froide, appelée la couche intermédiaire froide (CIF), est située entre 40 à 150 m de profondeur. Cette structure verticale peut toutefois varier dans l'espace sur le plateau. Comme les eaux hauturières chaudes ne peuvent pas pénétrer loin dans le nord-est du plateau néo-écossais à cause de contraintes topographiques, la CIF (températures < 5 °C) s'étend généralement jusqu'au fond pendant toute l'année dans cette région.

Variabilité récente

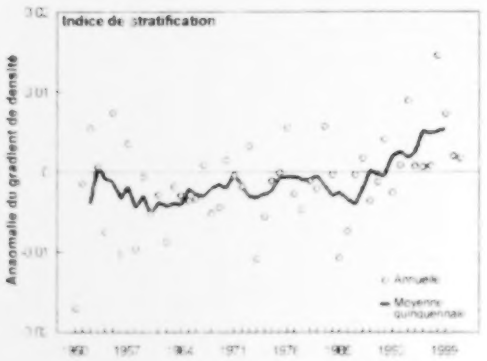
Au cours des deux dernières décennies, la température et la salinité des eaux de l'est du plateau néo-écossais ont connu d'importants changements. On doit noter en particulier la présence d'une couche d'eau froide sous la surface (au-dessous de 50 m) dans le quadrant nord-es. Les températures ont baissé tout au long des années 1980, puis ont chuté considérablement sous la normale en 1985 (par rapport à la moyenne pour 1971-2000 de 1,73 °C).



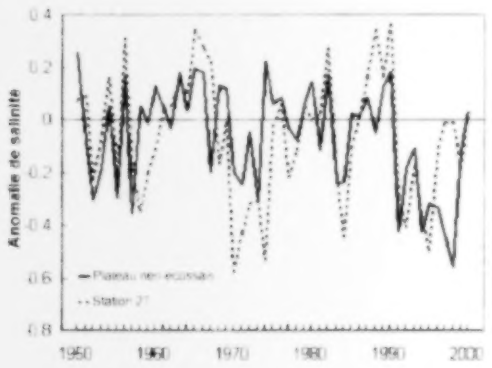
Les températures ont continué à baisser par la suite, pour atteindre un minimum au début des années 1990. Elles ont ensuite augmenté lentement, pour éventuellement se situer au-dessus de la normale à la fin des années 1990. Les températures plus froides que d'habitude qui ont perduré pendant presque 15 ans constituent une caractéristique particulière de la série de données sur les températures des eaux de la région couvrant une période de 50 ans. De plus, le début des années 1990 était généralement la période la plus froide observée. L'advection en bordure du plateau, imputable à l'entrée d'eau provenant du golfe du Saint-Laurent et du sud de Terre-Neuve, semble être la cause principale de ces conditions froides, en plus de la possibilité d'un refroidissement local induit par l'atmosphère. Des conditions froides semblables ont été observées dans les régions littorales le long de tout le prolongement de l'est du plateau néo-écossais, mais non dans le secteur sud-ouest de la région, comme dans le bassin d'Émeraude. À cet endroit, l'influence des eaux hauturières du talus qui pénètrent sur le plateau par le golfe Scotia a maintenu les eaux sous la surface relativement chaudes tout au long des années 1980 et 1990, sauf en 1997-1998, lorsque des eaux froides du talus issues du courant du Labrador sont arrivées au rebord du plateau et ont poussé les eaux du talus normalement plus chaudes vers le large. Ces eaux froides ont par la suite envahi les couches profondes du centre et du sud-ouest du plateau. Bien que cet événement ait donné lieu aux conditions près du fond les plus froides dans ces secteurs depuis les années 1960, il n'a pas duré longtemps, soit environ un an.



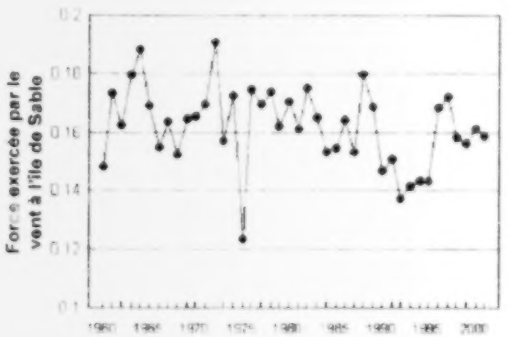
Outre les changements qui se sont produits sous la surface, d'autres changements importants ont aussi été observés dans les eaux près de la surface. La stratification de densité verticale accrue vient en tête de liste de ceux-ci: dans l'est du plateau néo-écossais, elle a atteint son niveau le plus élevé du dernier demi-siècle dans les premiers 50 m pendant la plus grande partie des années 1990.

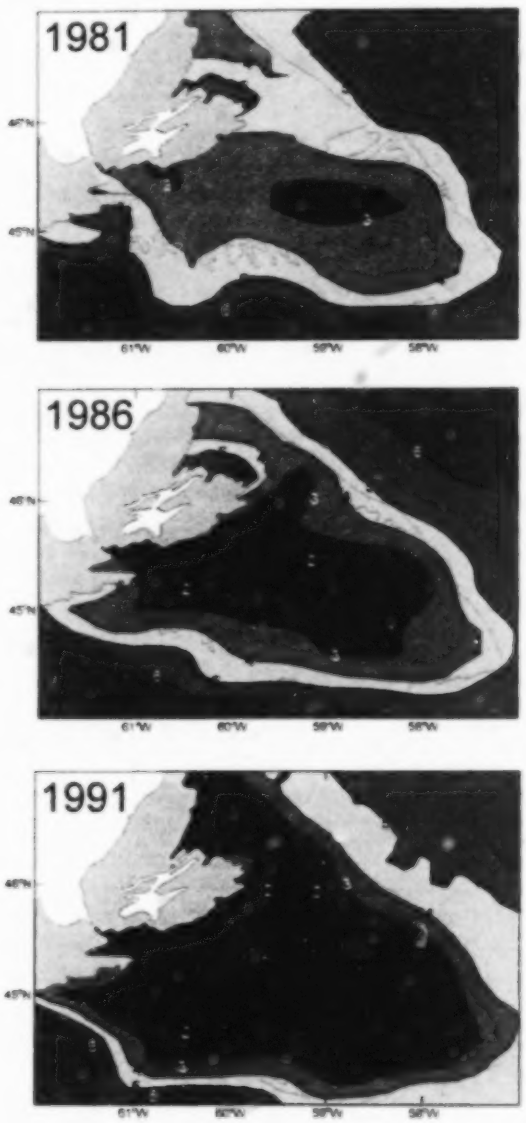


Ce phénomène résultait en grande partie des faibles salinités records des eaux près de la surface, advectées sur le plateau du large des Bancs de Terre-Neuve.

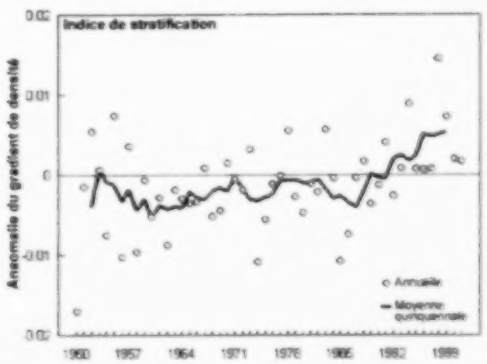


La fréquence réduite des tempêtes, telle que mesurée par la variabilité (écart-type) de la force d'entraînement du vent à l'île de Sable, peut avoir aussi contribué à l'accroissement de la stratification, au moins pendant la première moitié des années 1990 en raison du mélange vertical réduit.

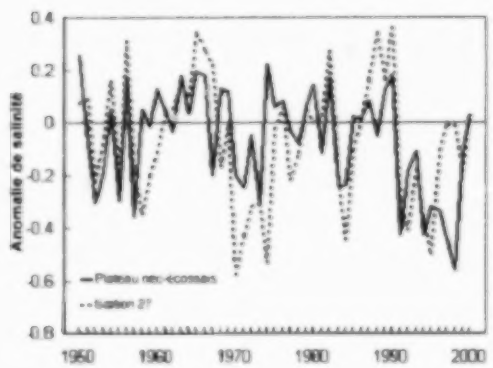




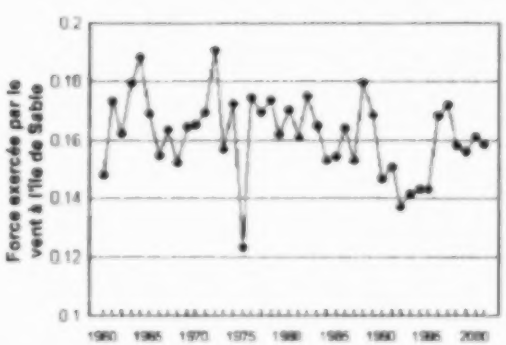
Outre les changements qui se sont produits sous la surface, d'autres changements importants ont aussi été observés dans les eaux près de la surface. La stratification de densité verticale accrue vient en tête de liste de ceux-ci; dans l'est du plateau néo-écossais, elle a atteint son niveau le plus élevé du dernier demi-siècle dans les premiers 50 m pendant la plus grande partie des années 1990.



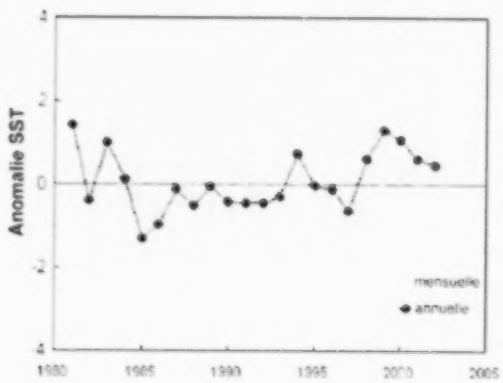
Ce phénomène résultait en grande partie des faibles salinités records des eaux près de la surface, advectées sur le plateau du large des Bancs de Terre-Neuve.



La fréquence réduite des tempêtes, telle que mesurée par la variabilité (écart-type) de la force d'entraînement du vent à l'île de Sable, peut avoir aussi contribué à l'accroissement de la stratification, au moins pendant la première moitié des années 1990 en raison du mélange vertical réduit.



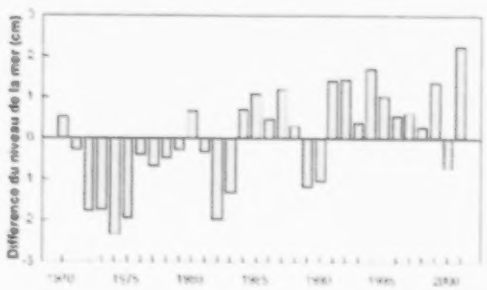
Les eaux douces qui se déversent dans le golfe du Saint-Laurent atteignent éventuellement le plateau néo-écossais. Comme le volume de cet apport durant les années 1990 a diminué par rapport aux années précédentes, on ne s'attend pas à ce qu'elles aient joué un rôle dans la baisse de la salinité et l'accroissement de la stratification sur le plateau néo-écossais. La température de la couche de surface durant cette période de stratification marquée a varié, quoique les données satellitaires donnent à penser qu'elle était élevée pendant plusieurs années à la fin des années 1990, le maximum ayant été atteint en 1999.



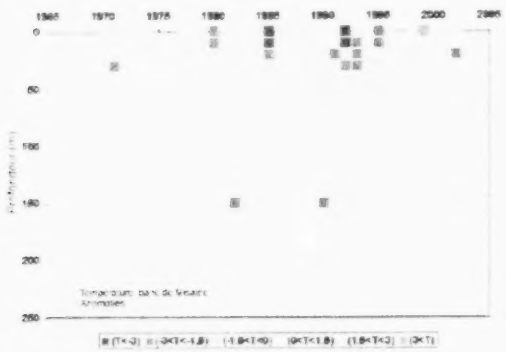
Ce pic de température s'est produit la même année où les températures de l'air ont atteint des niveaux records sur le plateau néo-écossais.

Gradients du niveau de la mer

Du golfe du Saint-Laurent, le courant de la Nouvelle-Écosse traverse Sydney Bight et suit la côte jusqu'à un point au-delà de Halifax, sous l'impulsion en partie d'un gradient barométrique côtier. La différence du niveau de la mer entre North Sydney et Halifax donne une mesure de la différence relative (non absolue) du niveau de la mer le long de la côte de la Nouvelle-Écosse. Si la différence relative est élevée, on s'attend à ce que le courant soit plus fort sur le plateau et qu'un plus grand volume d'eau du golfe y soit potentiellement présent; par contre, si la différence est faible, l'influence des eaux du golfe pourrait être moindre. Deux graphiques sont présentés à la figure ci-dessous, représentant la série temporelle d'anomalies annuelles des différences du niveau de la mer entre North Sydney et Halifax.



Une anomalie positive signifie que le niveau de la mer à North Sydney est plus élevé que la normale par rapport à Halifax et une anomalie négative, qu'il est plus bas. Les périodes d'anomalie négative de la différence du niveau de la mer (correspondant hypothétiquement à un apport réduit d'eau douce du golfe du Saint-Laurent) sont généralement associées à des périodes plus chaudes, tandis que les périodes d'anomalie positive (correspondant hypothétiquement à un apport accru d'eau douce du golfe) sont généralement associées à des périodes plus froides. Les anomalies de température en juillet sur le banc de Misaine à 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 et 200 m sont indiquées en couleur de sorte à refléter leur ampleur et leur signe. Il convient de remarquer en particulier la transition de conditions chaudes dans les années 1970 et au début des années 1980 à des conditions plus froides du milieu des années 1980 au milieu des années 1990, lorsque l'advection émanant de l'amont a fortement influé sur l'est du plateau.

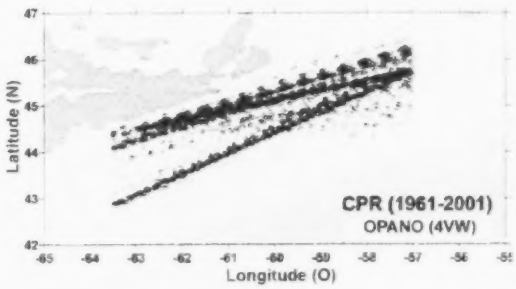


Phytoplancton, zooplancton, benthos, poissons et mammifères marins

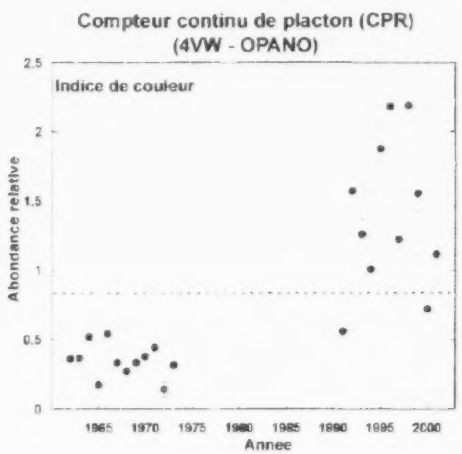
Une vaste gamme d'organismes jouent un rôle important dans la biologie de l'est du plateau néo-écossais. Seuls les groupes pour lesquels des données détaillées sur leur abondance et sa variation dans le temps sont examinés ci-dessous. Des séries temporelles uniformes de données ne sont pas disponibles pour plusieurs groupes, y compris les cétacés, les oiseaux marins, les tortues marines et la plupart des invertébrés.

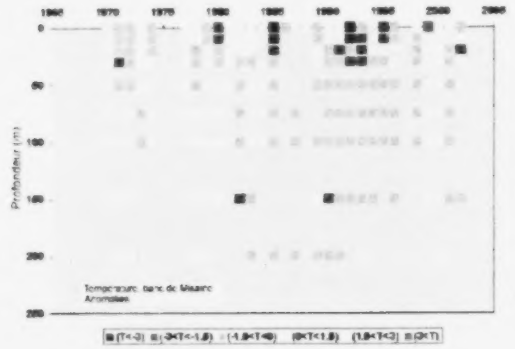
Phytoplancton et zooplancton

Les estimations de l'abondance du phytoplancton dans le secteur est du plateau néo-écossais reposent sur les séries de données recueillies dans le cadre du Programme continu d'enregistrement du plancton, la plus longue série temporelle de données sur le plancton de l'Atlantique nord-ouest. Les données historiques ont été analysées en vue d'établir s'il existait des différences dans les indices du phytoplancton (couleur et abondance relative) et l'abondance relative du zooplancton à des intervalles d'environ un mois. Comme les méthodes d'échantillonnage utilisées depuis les premiers relevés effectués dans l'Atlantique nord-ouest jusqu'à maintenant sont les mêmes, il est possible de faire des comparaisons interannuelles. Les relevés, commencés en 1961, ont été interrompus en 1976 pour ensuite reprendre en 1991; ils se poursuivent toujours. Les données recueillies en 1961 et de 1974 à 1976 étant incomplètes, elles ne sont pas incluses dans l'analyse.



L'abondance du phytoplancton peut fortement varier d'une année à l'autre, quoique l'indice de couleur CPR et le nombre de diatomées et de dinoflagellés par trait révèlent que les niveaux au cours de la dernière décennie (1991-2001) sont considérablement plus élevés et plus variables que dans les années 1960 et au début des années 1970. Les changements décennaux semblent plus marqués chez les diatomées que chez les dinoflagellés. Certains éléments probants indiquent en outre que les efflorescences printanières étaient plus grandes, ont commencé plus tôt et ont duré plus longtemps dans les années 1990 en comparaison des années 1960 et 1970.



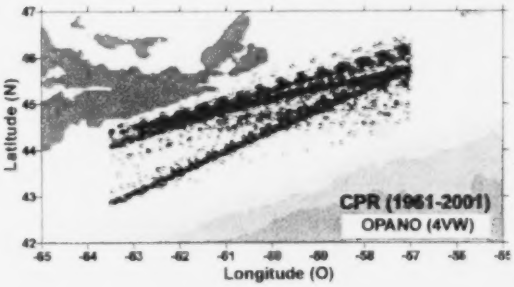


Phytoplancton, zooplancton, benthos, poissons et mammifères marins

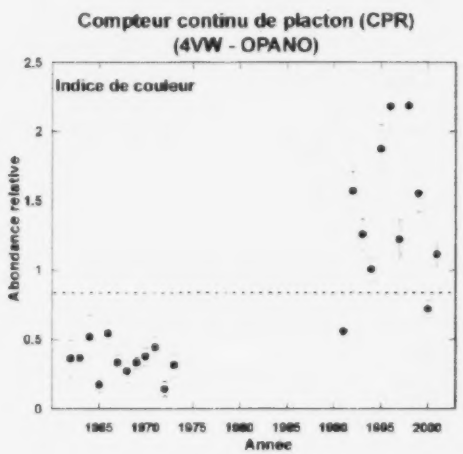
Une vaste gamme d'organismes jouent un rôle important dans la biologie de l'est du plateau néo-écossais. Seuls les groupes pour lesquels des données détaillées sur leur abondance et sa variation dans le temps sont examinés ci-dessous. Des séries temporelles uniformes de données ne sont pas disponibles pour plusieurs groupes, y compris les cétacés, les oiseaux marins, les tortues marines et la plupart des invertébrés.

Phytoplancton et zooplancton

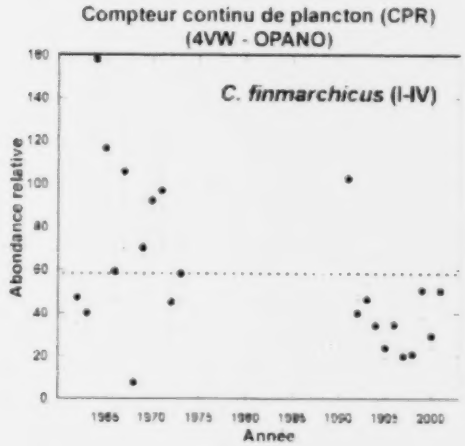
Les estimations de l'abondance du phytoplancton dans le secteur est du plateau néo-écossais reposent sur les séries de données recueillies dans le cadre du Programme continu d'enregistrement du plancton, la plus longue série temporelle de données sur le plancton de l'Atlantique nord-ouest. Les données historiques ont été analysées en vue d'établir s'il existait des différences dans les indices du phytoplancton (couleur et abondance relative) et l'abondance relative du zooplancton à des intervalles d'environ un mois. Comme les méthodes d'échantillonnage utilisées depuis les premiers relevés effectués dans l'Atlantique nord-ouest jusqu'à maintenant sont les mêmes, il est possible de faire des comparaisons interannuelles. Les relevés, commencés en 1961, ont été interrompus en 1976 pour ensuite reprendre en 1991; ils se poursuivent toujours. Les données recueillies en 1961 et de 1974 à 1976 étant incomplètes, elles ne sont pas incluses dans l'analyse.



L'abondance du phytoplancton peut fortement varier d'une année à l'autre, quoique l'indice de couleur CPR et le nombre de diatomées et de dinoflagellés par trait révèlent que les niveaux au cours de la dernière décennie (1991-2001) sont considérablement plus élevés et plus variables que dans les années 1960 et au début des années 1970. Les changements décennaux semblent plus marqués chez les diatomées que chez les dinoflagellés. Certains éléments probants indiquent en outre que les efflorescences printanières étaient plus grandes, ont commencé plus tôt et ont duré plus longtemps dans les années 1990 en comparaison des années 1960 et 1970.



Par opposition aux changements décennaux dans l'abondance du phytoplancton, l'abondance de *Calanus finmarchicus*, une des plus importantes espèces zooplanctoniques de l'Atlantique nord-ouest, a diminué au cours de la dernière décennie par rapport aux années 1960 et 1970, les différences étant statistiquement significatives.



La variabilité interannuelle dans les années 1990 était moins marquée qu'elle ne l'était lors des premiers relevés du Programme continu d'enregistrement du plancton. L'abondance d'autres espèces communes dans les eaux tempérées (p. ex. *Paracalanus, Pseudocalanus*) a peu varié au fil de la période couverte, tandis que des espèces propres aux eaux froides issues du golfe du Saint-Laurent et du courant du Labrador (p. ex. *Calanus hyperboreus*) étaient plus répandues dans les années 1990 que dans les années 1960 et 1970. Le nombre total CPR of krill (euphausiacés) était faible dans les années 1990 par rapport aux années 1960 et au début des années 1970, comme dans le cas de *Calanus* (MPO, 2000).

Indice	1962-1973	1991-2001
Couleur	0,35 (0,12)	1,39 (0,54)
Diatomées	44 448 (29 916)	125 361 (57 989)
Dinoflagellés	22 611 (11 482)	32 229 (9 282)
C. finmarchicus (I-IV)	74,6 (40,8)	41,1 (23,2)
C. finmarchicus (V-VI)	17,8 (11,6)	8,3 (3,4)
C. hyperboreus	0,018 (0,029)	0,192 (0,312)
Paracalanus et *Pseudocalanus*	129,1 (62,6)	145,5 (58,0)

Les valeurs indiquent la moyenne et l'écart type (entre parenthèses); l'abondance est exprimée en nombre par trait, à l'exception de la couleur, mesurée comme la « verdure ».

La vaste lacune qui existe dans les données entre le milieu des années 1970 et les années 1990 ne permet pas d'établir si les changements décennaux dans l'abondance du plancton observés dans le secteur est du plateau néo-écossais ont été graduels ou rapides. La biodiversité du phytoplancton et du zooplancton n'a pas été adéquatement étudiée; cette lacune devrait être comblée. Par exemple, les programmes de collecte de zooplancton n'ont visé jusqu'à maintenant que les espèces communes et leurs divers stades de développement.

Benthos

En termes relatifs, on connaît mal la communauté benthique de l'est du plateau néo-écossais. Il existe toutefois des estimations pour certains groupes d'espèces à quelques endroits. Ainsi, on a dénombré 270 espèces macrofauniques et mégafauniques benthiques à un site d'étude situé sur le Banquereau et 341 à un site sur le banc Western. Par contre, on n'a pas établi quelles espèces méiobenthiques (p. ex. nématodes) étaient retrouvées à ces endroits.

Breeze *et al.* (2002) présentent un exposé détaillé de la communauté benthique de l'est du plateau néo-écossais, portant sur la diversité des espèces et la distribution des principaux taxons. La distribution des invertébrés benthiques dans ce secteur est étroitement liée au type de sédiment et à la

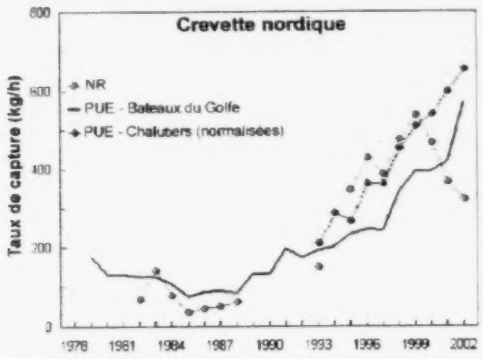
température de l'eau. La fleur de sable (*Echinarachnius parma*) est un invertébré typique des fonds de sable fin, tandis que la palourde américaine (*Arctica islandica*) et la mactre de Stimpson (*Mactromeris polynyma*), fréquemment retrouvées avec le pitot (*Cyrtodaria siliqua*) et le concombre de mer du Nord (*Cucumaria frondosa*), sont des espèces typiques des fonds de sable grossier, alors que le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) et les espèces accompagnatrices sont communs sur les fonds de gravier sableux des bancs.

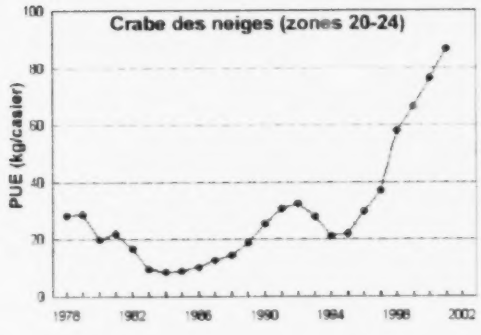
Parmi les invertébrés typiques des eaux tempérées et des sédiments fins des cuvettes situées à proximité du banc de Misaine s'inscrivent le crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*), l'ophiure (*Ophiura* spp.) et la crevette nordique (*Pandalus borealis*). Les espèces communes des sédiments fins du bassin d'Émeraude sont quelque peu différentes de celles retrouvées dans les eaux tempérées plus au nord-est. Le crabe nordique (*Cancer borealis*) est commun dans tout le bassin et dans les eaux profondes du centre du plateau néo-écossais, mais il ne l'est pas plus à l'est. Le crabe des neiges n'est pas commun dans les secteurs centre et ouest du plateau. Des polychètes des familles Serpulidae et Onuphidae sont retrouvés sur les fonds de sédiments fins, les espèces propres aux eaux froides étant présentes dans les environs du banc de Misaine et sur le talus du chenal Laurentien et les espèces propres aux eaux plus chaudes, dans le bassin d'Émeraude et sur le talus au sud des bancs Western et d'Émeraude.

D'après les quelques études du milieu benthique du talus, les pennatules ou plumes de mer (Pennatulacés), les madréporaires solitaires (*Flabellum* spp.) et les ophiures (Ophiuridés) sont relativement communs sur les sédiments fins. Les blocs glaciels retrouvés sur le talus supérieur (au-dessus de 800 m) et à divers autres endroits de l'est du plateau néo-écossais abritent de nombreuses espèces d'invertébrés sédentaires, y compris des éponges, des bryozoaires, des anémones et des mains de mer.

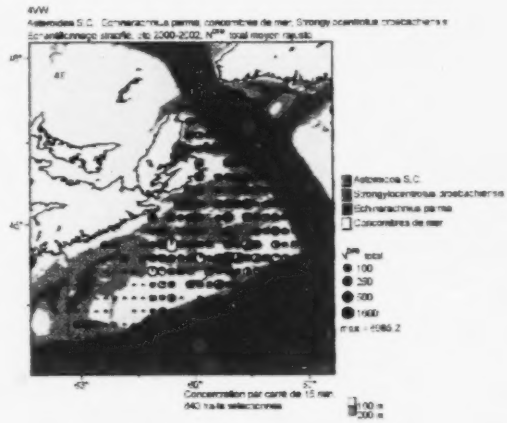
Les conditions environnementales à certains endroits du talus et de l'est du plateau favorisent la présence de communautés benthiques uniques ou distribuées en nuage. On retrouve aussi des concentrations de gros gorgones dans les canyons sous-marins et les chenaux profonds.

Des relevés annuels systématiques de la communauté des invertébrés benthiques ne sont pas faits, à l'exception de relevés dirigés d'espèces faisant l'objet d'une pêche commerciale, comme la crevette et le crabe des neiges. L'abondance de ces deux espèces ayant augmenté de façon spectaculaire depuis le début des années 1990, elles alimentent maintenant une pêche beaucoup plus importante. On doit toutefois noter que l'utilisation des PUE comme indice d'abondance du crabe des neiges est source d'incertitude car les pêcheurs ont progressivement adopté des casiers plus efficaces au cours des dernières années (MPO, 2003a). L'augmentation récente de l'abondance de la crevette et du crabe des neiges peut être surestimée; de fait, la courte série temporelle de données de relevé de recherche révèle qu'elle a récemment diminué. En outre, comme il l'a déjà été mentionné, le crabe des neiges pêché dans ce secteur se situe à l'extrémité sud de l'aire de répartition de l'espèce ; sa présence à cet endroit est donc peut-être temporaire.





Il sera peut-être possible de faire à l'avenir des évaluations de l'abondance d'espèces sans importance commerciale étant donné qu'en 1999, on a commencé, dans le cadre du relevé de navire de recherche de juillet visant le plateau néo-écossais à identifier systématiquement les composantes de la communauté benthique, qu'elles soient importantes ou non au plan commercial. Par exemple, la distribution du concombre de mer, de l'oursin, du clypéastre et de l'astérie, illustrée ci-dessous, montre le potentiel qu'a cette base de données croissante de révéler les régimes de distribution de ces espèces. On doit toutefois noter que les chaluts à panneaux ne sont pas efficaces pour ce qui est de capturer des organismes épibenthiques et manquent complètement les organismes enfouis dans les sédiments, cette faune communément appelée endofaune. Il serait peut-être plus facile d'établir des séries temporelles de données détaillées en échantillonnant à nouveau les divers sites d'étude du MPO pour lesquels des données de base existent, comme les pêcheries de la palourde à la drague sur le Banquereau, les incidences du chalutage sur le banc Western et un projet sur l'habitat du poisson en cours sur les bancs d'Émeraude, Western et de l'île de Sable.

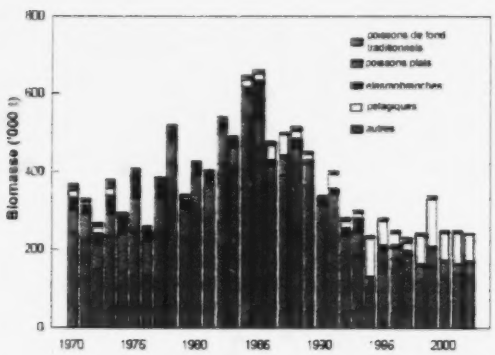


Poissons

Le relevé de NR de juillet effectué depuis 1970 constitue la principale source d'information utilisée pour établir la structure de la communauté des poissons. Il est le principal indice indépendant de la pêche utilisé pour évaluer les stocks du plateau néo-écossais exploités commercialement car il permet de faire des estimations quantitatives d'une vaste gamme d'espèces démersales (poisson de fond) et pélagiques. De plus, la longueur et le poids de poissons de la plupart des espèces capturées, qui totalisent un peu plus de 130, ont été mesurés au cours de cette série de relevés.

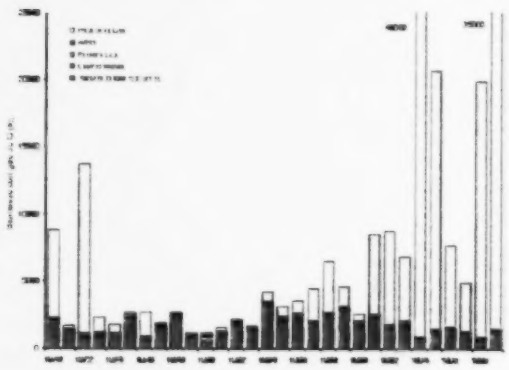
Nous avons estimé la biomasse chalutable des cinq groupes d'espèces suivants : poissons de fond exploités depuis longtemps (morue, aiglefin, merluche blanche, merluche rouge, merlu argenté, brosme, goberge, merlu blanc et sébaste), poissons plats (flétan atlantique, flétan noir, plie canadienne, plie grise, plie rouge, turbot de sable et cardeau à quatre ocelles), élasmobranches (raie épineuse, raie à queue de velours, raie hérisson, raie tachetée, aiguillat commun et aiguillat noir),

petits pélagiques (hareng, maquereau, capelan, lançon, grande argentine, alose tyran, gaspareau) et autres (toutes les autres espèces). En général, la biomasse chalutable totale a chuté, passant d'un pic de plus de 600 000 t au milieu des années 1980 à un peu plus de 200 000 t dans les dernières années. Les poissons de fond exploités depuis longtemps affichent la baisse la plus marquée, suivis des poissons plats et des élasmobranches. Par opposition aux poissons de fond, la biomasse chalutable de petits pélagiques a fortement augmenté. Cette tendance se reflète aussi dans l'abondance des espèces, le changement chez les pélagiques étant frappant; l'abondance de ceux-ci a augmenté de 400 à 500 fois depuis le début des années 1980. Étant donné que l'engin de relevé utilisé pour capturer des espèces pélagiques, comme le hareng, le maquereau, le lançon et le capelan, n'est pas très efficace, les estimations de l'abondance de ces espèces sont en réalité des sous-estimations.



Un simple rapport entre la biomasse de poissons pélagiques et de poissons démersaux illustre de façon convaincante le virage qui s'est produit dans la structure de la communauté des poissons.

Lorsqu'on ajuste les estimations de la biomasse chalutable afin de tenir compte de la capturabilité (utilisation d'une échelle représentant le degré à lequel l'engin de relevé sous-échantillonne une espèce donnée), on obtient une estimation de la biomasse absolue de la population. Bien que de telles estimations soient quelque peu boiteuses et requièrent la formulation de nombreuses hypothèses quant au comportement de chaque espèce (Harley *et al.*, 2001), de telles transformations donnent un autre aperçu de l'ampleur des changements dans la biomasse des poissons. L'ajustement des données afin de tenir compte de la capturabilité relative de toutes les espèces lors du relevé du poisson de fond au chalut révèle une augmentation de la biomasse totale et une communauté fortement dominée à l'heure actuelle par la biomasse de petits pélagiques (K. Zwanenburg, MPO, comm. pers.). Les données ajustées en fonction de la capturabilité donnent une idée plus réaliste de la tendance récente de la biomasse totale du poisson par rapport à la série de données non ajustées. La forte variabilité des estimations de la biomasse totale est imputable à la contribution variable des espèces pélagiques résultant de la méthode inefficace d'échantillonnage de ce groupe.

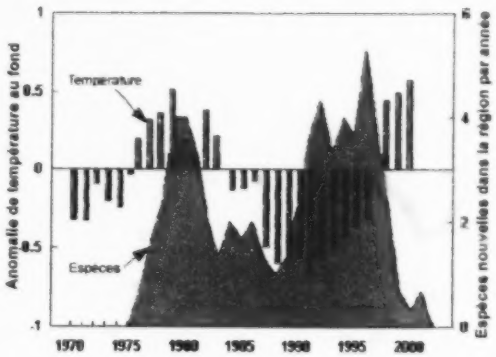


La composition des prises par espèces variait fortement d'une année de relevé à l'autre, trois groupes généraux se dégageant : 1970-1980, 1981-1992 et 1993-2002. La composition des communautés se révèle dynamique, chacune changeant continuellement par rapport à la première.

Dix principales espèces	1970-1980	1981-1992	1993-2002
1	Sébaste	Sébaste	Lançon
2	Plie canadienne	Merlu argenté	Capelan
3	Limande à queue jaune	Aiglefin	Merlu argenté
4	Morue	Morue	Aiglefin
5	Lançon	Plie canadienne	Hareng
6	Merlu argenté	Limande à quene jaune	Sébaste
7	Aiglefin	Hareng	Plie canadienne
8	Raie épineuse	Merluche blanche	Limande à queue jaune
9	Plie grise	Capelan	Morue
10	Chaboisseau à dix-huit épines	Raie épineuse	Plie grise

L'ordre de classement des dix espèces les plus importantes a énormément changé au cours de la dernière période; ainsi, des espèces pélagiques comme le lançon, le capelan et le hareng sont maintenant dominantes. Seuls le merlu argenté et l'aiglefin sont demeurés en tête de liste depuis le début des années 1980, tandis que la morue, le sébaste, la merluche blanche et la raie épineuse ont été déclassés. De plus, il est évident que l'abondance de la lompénie tachetée, du flétan noir, de la lompénie-serpent et de l'agone atlantique a augmenté par 10 à 50 fois au cours de la dernière période par rapport à 1981-1992. Il est notable que toutes ces espèces sont de faible longueur, à l'exception du flétan noir. En outre, la température semble influer sur la présence de nouvelles espèces dans la région, en particulier lorsque les conditions demeurent constamment au-dessus ou au-dessous de la normale.

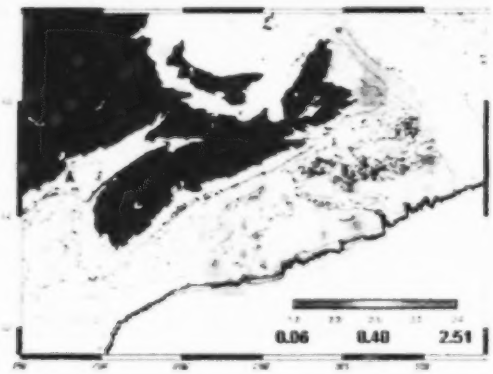
Plusieurs espèces d'origine subarctique ont été capturées pour la première fois pendant la période de refroidissement anormal des eaux qui a commencé au milieu des années 1980, dont le chaboisseau à épines courtes, la limace de Reinhard, la lycode de Terre-Neuve, l'icèle à deux cornes, le chaboisseau bronzé et la licode à carreaux. Dans l'ensemble, 30 espèces nouvelles dans cette région ont été capturées depuis 1991, la plupart mesurant moins de 35 cm. Inversement, pendant la période de réchauffement des eaux qui a commencé à la fin des années 1970, plusieurs espèces propres aux eaux chaudes tempérées et subtropicales ont été capturées, dont le poisson-chèvre, le lussion, la chauve-souris atlantique, le verdocil nez court, la lycode commune, le cardeau de profondeurs et l'avocette ruban.



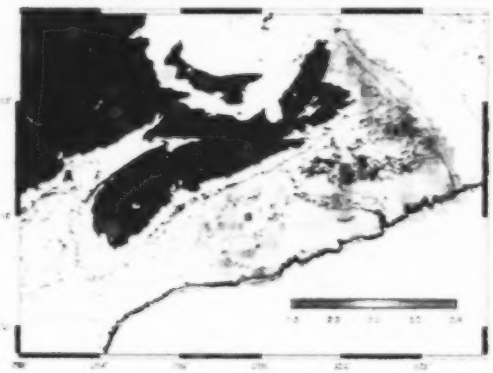
La description précédente des changements temporaux dans la composition par espèces et l'abondance laisse supposer que des baisses de la longueur et du poids moyens de l'ensemble des espèces de poissons de fond seraient évidents. La tendance à la baisse du poids

(unités = kg) était davantage évidente durant les années 1990, la plus forte baisse s'étant produite dans les sous-divisions 4Vn et 4Vs. Les changements dans la longueur reflètent ces tendances. Un poids moyen à la baisse, tel qu'illustré ci-dessus, reflète non seulement une abondance accrue d'espèces de faible longueur mais aussi une distribution réduite de la taille des espèces de longueur élevée.

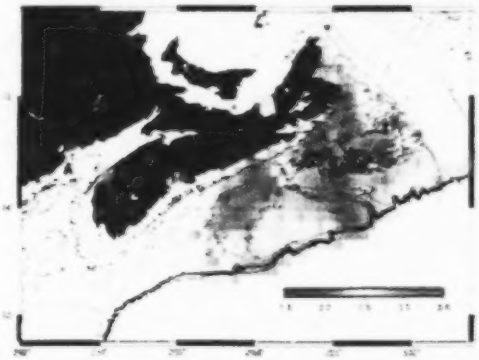
Poids moyen des poissons (années 1970)



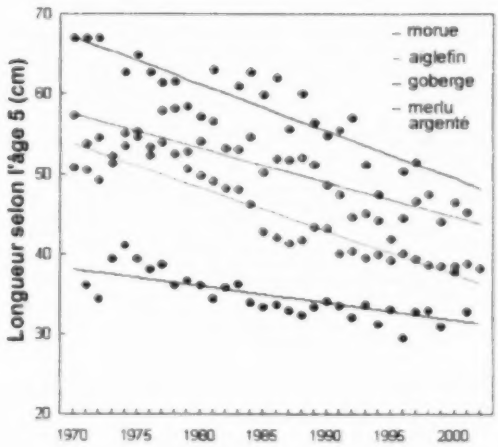
Poids moyen des poissons (années 1980)



Poids moyen des poissons (années 1990)



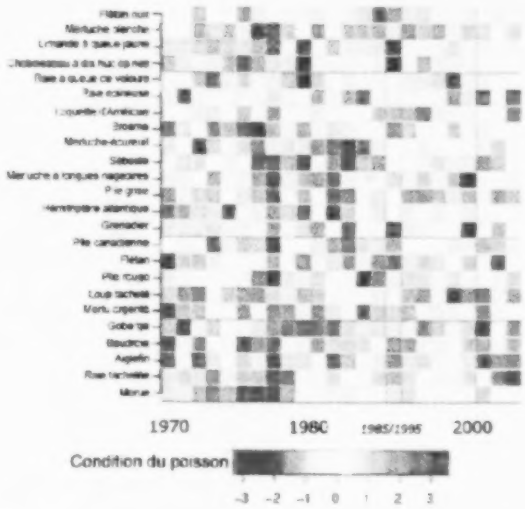
Bien que l'âge de seulement quelques-unes des espèces de poisson de fond pêchées depuis longtemps soit déterminé systématiquement, les données disponibles révèlent des baisses frappantes et inattendues de la taille. Par exemple, la morue, l'aiglefin et la goberge adultes (âge 5) sont maintenant beaucoup plus petits, en moyenne, qu'ils ne l'étaient dans les années 1970 et 1980. La taille du merlu argenté selon l'âge a aussi diminué, malgré que les effectifs soient faibles à l'heure actuelle, ce qui laisse supposer qu'un processus dynamique fondamental des populations (croissance compensatrice) n'est pas à l'œuvre chez ces espèces.



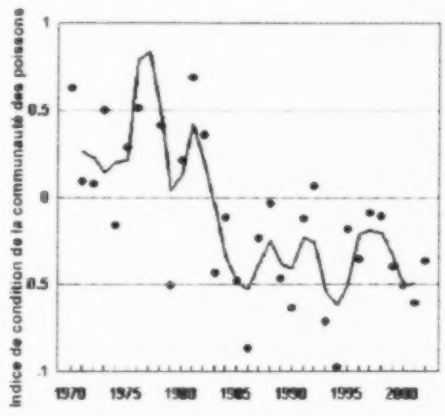
Ces changements dans la longueur moyenne de poissons qui atteignaient par le passé une grande taille ont de nombreuses répercussions potentielles, comme une

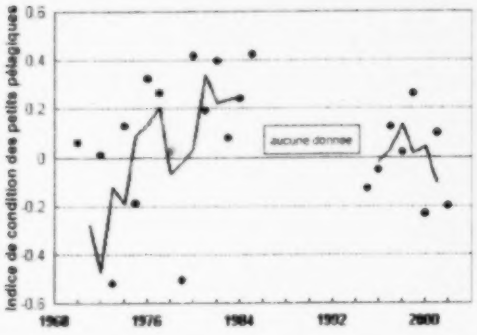
durée de génération plus courte, une mortalité naturelle accrue et une variabilité plus élevée des populations. La fermeture de la pêche dirigée de la morue et de l'aiglefin nous a permis d'estimer directement le taux de mortalité naturelle de ces espèces, ce qui a révélé des niveaux de deux à cinq fois plus élevés que généralement supposés (MPO, 2003b; Mohn et Simon, 2002). De tels changements n'indiquent pas forcément un écosystème en mauvaise état mais simplement un écosystème qui ne fonctionne pas de la même manière que par le passé.

Nous pouvons toutefois évaluer directement l'état de santé d'une des composantes de l'écosystème, soit la condition physiologique des diverses espèces, représentée par le facteur de condition, indicateur simple des réserves d'énergie. Des données sur des espèces d'importance et sans importance commerciale révèlent que la pression par pêche (comme la pêche visant certaines tailles) n'a pas d'incidence directe sur ce facteur. Nous avons établi un indice de condition plurispécifique en exprimant la variation du poids prévu à une longueur donnée pour chaque espèce comme une anomalie représentée en unités d'écart type, chromocodé de vert à rouge, couvrant la gamme des anomalies allant de fortement positives à fortement négatives. Cette analyse porte sur 24 espèces communes, le poids prévu ayant été estimé selon les longueurs des adultes. L'analyse a révélé que le facteur de condition d'une vaste gamme d'espèces changeait de la même manière d'une année à l'autre ; seize d'entre elles étaient en condition relativement bonne jusqu'en 1982 pour ensuite connaître une période prolongée où leur condition se situait sous la moyenne, ce qui encore le cas.



Nous avons ensuite établi une série temporelle de facteurs de condition de la communauté des poissons en calculant la moyenne annuelle pour les espèces. La première moitié de la série indique que la condition de la communauté était supérieure à la moyenne, puis qu'elle a chuté depuis 1983 pour se situer sous la moyenne, un état qui perdure. Dans le cas des espèces pélagiques, les données manquent relativement d'uniformité, bien qu'elles révèlent que la condition a atteint un pic au milieu des années 1980 au moment où la condition des poissons de fond était à la baisse. La condition des pélagiques se rapprochait de la normale dans les dernières années, ce qui va à nouveau à l'opposé de la condition des démersaux.

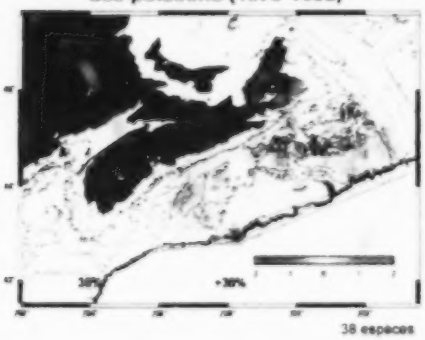




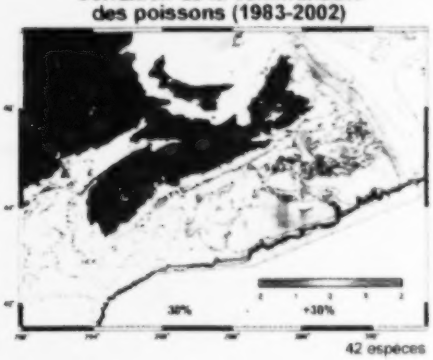
Nous avons aussi utilisé une méthode d'évaluation de la condition par complément rassemblant toutes les espèces de poissons de fond pour lesquelles nous disposions de données sur la longueur et le poids (n = 43 espèces) pour établir les tendances temporelles de la condition à petite échelle.

De grandes régions de l'est du plateau étaient fréquentées par des espèces de poisson en relativement bonne condition jusqu'en 1982, une situation qui a changé complètement par la suite. Fait intéressant, les poissons retrouvés sur le banc de Misaine, une région marquée par une topographie complexe, sont demeurés en condition relativement bonne. L'écosystème de l'est du plateau n'a pas connu une population de poissons de fond prolifique depuis presque deux décennies.

Condition de la communauté des poissons (1970-1982)



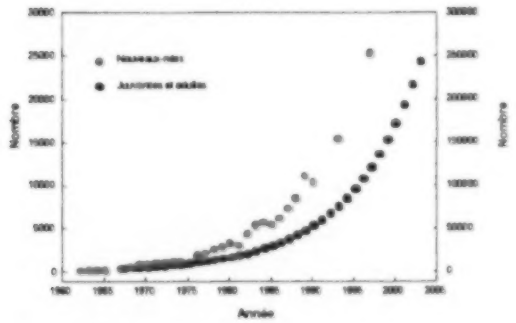
Condition de la communauté des poissons (1983-2002)



Mammifères marins

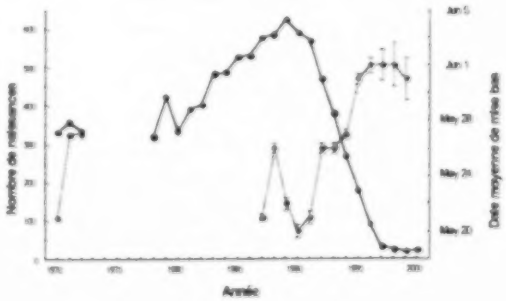
On retrouve 23 espèces de mammifères marins dans l'est du plateau néo-écossais, quelques-unes à certaines saisons seulement et d'autres à longueur d'année. Quoique cinq espèces de phoque fréquentent ces eaux, seuls le phoque commun et le phoque gris sont communs à abondants et ont été l'objet d'études annuelles depuis un certain temps. Les autres 18 espèces sont des cétacés à dents (Odontocètes), y compris la baleine à bec commune et le cachalot macrocéphale, et des cétacés à fanons. À l'exception de la baleine à bec commune, on dispose de peu d'information sur les changements temporels dans l'abondance des cétacés dans ce secteur. Pourtant, un certain nombre des petits Odontocètes sont considérés comme étant communs à abondants en saison. Des relevés de navire des baleines à bec communes sont effectués dans le Gully depuis 1988. Les observations (c.-à-d. le nombre d'individus observés par heure de recherche) entre 1988 et 1999 ont varié d'une année à l'autre mais sans montrer une tendance. Il n'y a pas de différence significative entre les estimations des effectifs pour 1990, 1996 et 1997 (Gowan *et al.*, 2000). L'analyse la plus récente, reposant sur le nombre d'individus portant des marques naturelles observés à nouveau, indique que la population compte 130 individus (Gowan *et al.*, 2000).

Le nombre de nouveaux-nés du phoque gris a augmenté à un taux de 13 % par année au cours des quatre dernières décennies (Bowen *et al.*, 2003a). Des préoccupations ont été exprimées à maintes reprises au sujet de l'incidence du nombre croissant de phoques gris sur le rétablissement des stocks de morue. Le lançon et d'autres espèces non commercialisables sont les proies les plus communes de ce phoque, la morue constituant une petite fraction de son régime alimentaire. Mais comme la morue est rare, on suppose que toute nouvelle source de mortalité nuira au stock restant.



Mohn et Bowen (1996) ont fait des estimations de la quantité de morue consommée par le phoque gris d'après un modèle de population englobant ses besoins métaboliques. L'effectif de la population et le régime alimentaire actuels du phoque gris ne sont pas connus, mais si le taux d'accroissement de la population est le même que par le passé, elle pourrait avoir doublé depuis le dernier relevé effectué en 1997, se situant à quelque 225 000 bêtes en 2002. D'après cette projection et de récentes données sur les acides gras démontrant que la morue peut n'avoir constitué qu'environ 1 % du régime alimentaire de ce phoque dans les dernières années, ce dernier aurait consommé environ 3 000 t de morue, dont la biomasse totale se chiffrait à 8 800 t (MPO, 2003b). De récentes données de surveillance par satellite de phoques gris adultes indiquent qu'une partie de la population de l'île de Sable s'alimente à l'extérieur des limites de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais. Il se peut donc que la quantité de morue consommée par le phoque gris dans cet écosystème soit être moins élevée qu'elle ne l'est estimée à l'heure actuelle. L'impact de la prédation exercée par le phoque gris sur la dynamique de la morue fait l'objet de recherches dynamiques car le rôle que joue la prédation exercée par le phoque dans le rétablissement des stocks de morue continue à préoccuper.

Le phoque commun est distribué à grande échelle dans l'est du plateau néo-écossais, tant dans les eaux côtières qu'à l'île de Sable, située au large. Les naissances à l'île de Sable sont surveillées depuis 1973, ce qui a permis d'établir que le nombre de nouveaux-nés a augmenté régulièrement jusqu'à la fin des années 1980 pour ensuite diminuer rapidement et radicalement durant les années 1990 à la suite d'une prédation accrue exercée par les requins et de la compétition présumée pour la nourriture avec le phoque gris, aux effectifs à la hausse (Lucas et Stobo 2000; Bowen *et al.*, 2003a). Au même moment où le nombre de phoques gris diminuait, la date moyenne de mise bas a avancé (points rouges), ce qui donne à penser à un stress nutritionnel avant la saison des amours. Moins d'une dizaine de petits sont nés dans l'île de Sable en 2002 et, selon toute probabilité, cet endroit ne servira plus à la reproduction à l'avenir. Inversement, les effectifs du phoque commun dans le golfe du Maine et dans l'ouest du plateau néo-écossais semblent à la hausse.



Synthèse

Nous avons établi une vue d'ensemble des changements qui se sont produits dans l'est du plateau néo-écossais depuis 1970 en prenant une approche semblable à la méthode des feux de circulation utilisée dans l'évaluation des stocks, récemment appliquée par Link *et al.* (2002) dans l'évaluation d'un écosystème dans le contexte de la gestion des pêches sur le banc Georges. Nous avons utilisé 64 mesures, dont 50 représentaient des indices de premier ordre et 14 des indices de deuxième ordre, soit des processus de haut niveau comme la composition des communautés, la croissance, etc. (voir tableau 1 en annexe). Nous avons fait en sorte que les indices puissent être comparés directement l'un à l'autre en les exprimant comme des anomalies (écart de la moyenne à long terme) représentées en unités d'écart type. Nous avons utilisé des couleurs pour illustrer l'ampleur des anomalies, allant de fortement négatives (rouge) à fortement positives (vert), mais l'agencement des couleurs n'a pas été choisi de sorte à porter un jugement sur la direction du changement (soit bon ou mauvais).

Les mesures figurant au tableau 1 en annexe ont été classées de sorte à montrer comment elles changent en coordination au cours de la période d'étude. Ainsi, la position des variables dans la séquence reflète la similarité relative de leur variation dans le temps. Par exemple, l'abondance des phoques, l'abondance des poissons pélagiques et les rapports entre pélagiques et démersaux (mesures situées au haut du tableau) changent de façon uniforme par rapport aux autres mesures figurant plus bas dans la liste. Ce qui est visuellement frappant, c'est le changement dans l'état de presque toutes les mesures au cours de la période d'étude, la transition se produisant entre 1985 et 1990. Il semble aussi se produire des changements réciproques dans le signe des anomalies normalisées : des indicateurs de l'abondance des poissons de fond à l'abondance des poissons pélagiques au zooplancton au phytoplancton – soit les composantes d'une chaîne alimentaire simplifiée. Lorsque les indicateurs d'abondance des poissons de fond indiquent que celle-ci était élevée dans les années 1970 et au milieu des années 1980, les pélagiques étaient peu abondants, le zooplancton était abondant et la teneur en chlorophylle était faible. Tout au long des années 1990, un renversement de cette tendance était évident lorsque les indicateurs de l'abondance des poissons de fond étaient faibles. Ces tendances demeurent inexpliquées, quoique quelques hypothèses clés méritent d'être considérées : 1) le contrôle exercé par les prédateurs sur la chaîne alimentaire, soit de haut en bas de celle-ci, peut expliquer les changements réciproques dans l'abondance entre des niveaux trophiques voisins; 2) les changements physiques résultant d'une stratification accrue favorisent la prolifération des pélagiques, qui monopolisent la chaîne alimentaire, ce qui limite l'apport d'éléments nutritifs au benthos; 3) le refroidissement et l'advection accrue sont associés à la colonisation par des espèces subarctiques, à une augmentation de l'abondance du crabe des neiges et de la crevette et à une baisse de la productivité en poisson de fond. En plus de la forte pression par pêche exercée sur les poissons de fond, les espèces dominantes comme la morue et l'aiglefin peuvent être devenues plus vulnérables à ces changements physiques. Il faut toutefois noter que ces hypothèses ne sont pas mutuellement exclusives et que des éléments de chacune peuvent contribuer aux tendances observées.

La séquence des mesures figurant au tableau 1 en annexe provient d'une analyse multivariée des anomalies (dans le présent cas, analyse en composantes principales; voir figure 1 en annexe), une méthode décrivant et résumant objectivement ces suites de changements dans les mesures. La principale suite de changements (axe 1 de l'ACP) est liée au passage d'un système

principalement démersal dans les années 1970 à un système davantage pélagique au cours de la présente décennie. La position relative des années donne une idée de leur similarité relative dans les mesures utilisées pour caractériser l'est du plateau néo-écossais. L'emplacement relatif des mesures indique le degré à lequel ces variables influent sur les années connexes. Ainsi, par exemple, les années 1970 à 1980, qui figurent toutes à la gauche dans la figure 1 en annexe, sont marquées par une longueur élevée de la morue et de l'aiglefin selon l'âge, une mortalité relative par pêche élevée, une longueur moyenne élevée des poissons démersaux, de fortes prises de poissons de fond et des teneurs élevées en BPC dans le petit lard des phoques. Inversement, la fin des années 1990 a été marquée par des prises élevées d'invertébrés, de plus fortes anomalies de stratification, des rapports élevés entre pélagiques et démersaux, une abondance accrue des phoques et un niveau de verdure CPR élevé. La deuxième suite de changements dominante (axe 2 de l'ACP) a mis en contrast les variations de la température dans l'est du plateau néo-écossais, mettant en relief le caractère distinctif de la période allant de 1985 à 1993, lorsque la superficie couverte de glaces était plus grande et que de basses températures prévalaient au fond sur le banc de Misaine.

Perspectives

Plusieurs éléments de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais ont changé à la suite d'activités humaines et de la variabilité environnementale. Le changement a été rapide et, au plan des espèces, certains groupes ont proliféré et d'autres non. Ainsi, plusieurs espèces d'invertébrés alimentent maintenant des pêches soit nouvelles ou développées et les petits pélagiques prolifèrent. La condition affaiblie persistante d'une gamme d'espèces de poissons de fond, ainsi que la faible taille selon l'âge et le taux élevé de mortalité naturelle d'un sous-ensemble d'espèces d'importance commerciale rendent perplexe au plus bas mot. À la lumière de la faible abondance des poissons de fond et l'abondance généralement élevée de proies, les conditions devraient être propices à la croissance. En outre, les températures se rapprochent davantage de la moyenne depuis la fin des années 1990. Les stocks de morue ne se sont pas rétablis à cause d'un faible taux de croissance et de l'absence de recrutement. Dans l'île de Sable, le nombre de phoques gris n'a cessé d'augmenter au cours des quatre dernières décennies, alors que le nombre de phoques communs a diminué. Des changements dans le milieu physique sont aussi évidents, mais il est encore trop tôt pour dire si ces changements au niveau régional ne reflètent que la variation naturelle ou s'inscrivent dans le cadre des changements climatiques anticipés à grande échelle associés à l'effet de serre. La demande constamment croissante de combustibles fossiles résultera en outre à la poursuite des activités de prospection et d'exploitation du gaz et du pétrole, accompagnées de leurs effets concomitants, qui à l'heure actuelle semblent soit localisés ou inconnus. Il n'est pas encore possible de prédire comment longtemps la situation actuelle perdurera et si le système reviendra ou non à son état antérieur dominé par les poissons de fond car on ne comprend pas très bien la dynamique des écosystèmes marins.

Une évaluation d'une telle portée d'une région relativement bien étudiée met en lumière les lacunes dans les données. Il est important d'en prendre note afin de saisir l'incertitude entourant les conclusions tirées et d'établir si elles doivent être comblées. Pour tous les niveaux trophiques sauf les supérieurs, il existe des lacunes dans les connaissances sur la diversité des espèces, soit passée ou présente, peuplant les eaux hauturières. Des programmes de surveillance des invertébrés benthiques devraient donc être mis en oeuvre. En outre, très peu d'information est disponible sur les teneurs en contaminants dans l'eau, les sédiments et le biote qui permettrait

d'établir leurs régimes ou de distribution ou leurs tendances dans l'espace ou le temps. Collectivement, ces lacunes ne sont pas seulement symptomatiques de la zone d'étude mais sont caractéristiques de nombreux écosystèmes hauturiers à l'échelle de la planète.

Pour de plus amples renseignements,

communiquez avec :

Kenneth Frank
Division des sciences océanologiques
Institut océanographique de Bedford
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)

Tél. : 902-426-3498
Fax : 902-426-6927
Courriel : frankk@mar.dfo-mpo.gc.ca

Références

Addison, R.F., et W.T. Stobo. 2000. Trends in organochlorine residue concentrations and burdens in grey seals (*Halichoerus grypus*) from Sable Is., NS, Canada, between 1974 and 1994. Environ. Poll. 112: 505-513.

Bowen, W.D., J.I. McMillan et R. Mohn. 2003a. Sustained exponential population growth of the grey seal on Sable Island. ICES J. Marine Sci: *Sous presse*.

Bowen, W.D., .S.L. Ellis, S.J. Iverson et D.J. Boness. 2003b. Maternal and newborn life-history traits during periods of contrasting population trends: implications for explaining the decline of harbour seals, *Phoca vitulina*, on Sable Island. Journal of Zoology, Londres: *Sous presse*.

Breeze, H., D.G. Fenton, R.J. Rutherford et M.A. Silva. 2002. The Scotian Shelf: an ecological overview for ocean planning. Rapp. tech. can. sc. halieut. aquat. 2393.

Coffen-Smout, S., R.G. Halliday, G. Herbert, T. Potter et N. Witherspoon. 2001. Ocean activities and ecosystem issues on the Eastern Scotian Shelf: an assessment of current capabilities to address ecosystem objectives. SCÉS, Doc. recher. 2001/095.

Cranford, P.J., K. Lee, J.W. Loder, T.G. Milligan, D.K. Muschenheim et J. Payne. 2001. Scientific considerations and research results relevant to the review of the 1998 offshore waste treatment guidelines. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2364.

Fisher, J.A.D., and K.T. Frank 2002. Changes in finfish community structure associated with an offshore fishery closed area on the Scotian Shelf. Mar. Ecol. Prog. Ser. 240: 249-265.

Gowans, S., H. Whitehead, J.K. Arch, and S.K. Hooker. 2000. Population size and residency patterns of northern bottlenose whales (*Hyperoodon ammpullatus*) using the Gully, Nova Scotia. J. Cetacean Res. Manage. 2: 201-210.

Harley, S.J., R. Myers, N. Barrowman, K. Bowen et R. Amiro. 2001. Estimation of research trawl survey catchability for biomass reconstruction of the Eastern Scotian Shelf. SCÉS, Doc recher. 2001/084.

Link, J.S., J.K.T. Brodziak, S.F. Edwards, W.J. Overholtz, D. Mountain, J.W. Jossi, T.D. Smith et M.J. Fogarty. 2002. Marine ecosystem assessment in a fisheries management context. J. can. sc. halieut. aquat. 59 : 1429-1440.

Lucas, Z., et W.T. Stobo. 2000. Shark-inflicted mortality on a population of harbour seals (*Phoca vitulina*) at Sable Island, Nova Scotia. Journal of Zoology, Londres. 252 : 405-414.

Mohn, R., et W.D. Bowen. 1996. Grey seal predation on the eastern Scotian Shelf: modelling the impact on Atlantic cod. J. can. sc. halieut. aquat. 53 : 2722-2738.

Mohn, R.K., et J.E. Simon. 2002. Biological information relevant to the management of 4TVW haddock. SCÉS, Doc. recher. 2002/102.

MPO, 2000. État du phytoplancton, du zooplancton et du krill sur le plateau néo-écossais en 1998. MPO-Sciences, Rapport sur l'état des stocks G3-02 (2000).

MPO, 2003a. Crabe des neiges de l'est de la Nouvelle-Écosse. MPO-Sciences, Rapport sur l'état des stocks 2003/029.

MPO, 2003b. Morue de l'est du plateau néo-écossais. MPO-Sciences, Rapport sur l'état des stocks 2003/020.

Pauly, D., V. Chrisensen, J. Dalsgaard, R. Froese et F.C. Torres, Jr. 1998. Fishing down marine food webs. Science 279: 860-863.

Thompson, D.H., J.W. Lawson et A. Muecke. 2001. Proceedings of a workshop to develop methodologies for conducting research on the effects of seismic exploration on the Canadian east coast fishery, Halifax, Nova Scotia, 7-8 Sept. 2000. Environmental Studies Research Funds Rep. No. 139. Calgary.

Zwanenburg, K., D. Bowen, A. Bundy, K. Drinkwater, K.T. Frank, R.N. O'Boyle, D. Sameoto et M. Sinclair. 2002. Decadal changes in the Scotian Shelf large marine ecosystem, pp. 105-150. *In*: K. Sherman and H.R. Skjoldal. (eds.). Large marine ecosystems of the North Atlantic: Changing states and sustainability. Elsevier.

Zwanenburg, K.C.T., 2003. The Scotian Shelf. In: Large Marine Ecosystems of the World - Trends in Exlpoitation, Protection, and Research. G. Hempel and K. Sherman [Eds.]. pp 75-91. Elsevier, New York: *Sous presse*.

Distribué par le :

Bureau du processus consultatif régional
des provinces Maritimes
Ministère des Pêches et des Océans
C.P. 1006, Succ. B203
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

Téléphone : 902-426-7070
Fax : 902-426-5435
Courriel : myrav@mar.dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas

ISSN 1480-4921 (imprimé)
© Sa majesté la Reine, Chef du Canada, 2003

An English version is available on request at the above address.

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO, 2003. État de l'écosystème de l'est du plateau néo-écossais. Rapport sur l'état des écosystèmes 2003/004.

Tableau 1. Le tableau figurant à la page suivante illustre les 64 mesures regroupées selon la similarité de leurs changements d'une année à l'autre indiqués par une couleur. De haut en bas, les variables sont les suivantes : abondance du phoque gris, abondance des poissons pélagiques (nombre), rapport entre l'abondance des poissons pélagiques et des poissons démersaux (reposant sur le nombre), valeur au débarquement des prises d'invertébrés, biomasse des poissons pélagiques, abondance des diatomées, nombre de nouveaux-nés du phoque gris, valeur au débarquement des prises de poissons pélagiques, couleur (indice de verdure), abondance des dinoflagellés, diversité des poissons (richesse), levés sismiques3D (km^2), position du Gulf Stream, anomalie de stratification, rapport entre l'abondance de diatomées et de dinoflagellés, anomalie du niveau de la mer, volume d'eau provenant de la CIF, débarquements d'invertébrés, superficie du fond < 3 °C, vents à l'île de Sable (tau), anomalie de la température de la surface de la mer (satellite), teneur en chlorophylle, température de la couche mixte, NAO, température au fond du bassin d'Émeraude, abondance de *Paracalanus* et de *Pseudocalanus*, position du talus, indice de tempêtes, température au fond sur le banc de Misaine, débarquements de poisson de fond, longueur selon l'âge (aiglefin), superficie du fond chalutée (bateaux > 150 TJB), longueur selon l'âge (morue), poids moyen d'un individu issu de relevé de NR, indice de similitude des communautés de poisson (Bray-Curtis), teneur en BPC dans le petit lard du phoque, F relatif du poisson de fond, longueur selon l'âge (goberge), *Calanus finmarchicus*, biomasse des poissons de fond par NR, débarquements de poissons pélagiques, longueur selon l'âge (merlu argenté), condition des communautés (reposant sur le poids calculé selon la longueur), profondeur de la couche mixte (Z), indice de condition des communautés (reposant sur les résidus de la relation entre le poids et la longueur dans les populations), proportion de la région où le poisson est en bon état, apport d'eau douce du fleuve Saint-Laurent, sigma t dans la couche mixte, teneur en oxygène (sous 150 m), force d'entraînement du vent (totale), force d'entraînement du vent (direction des x), amplitude de la force d'entraînement du vent, température de la surface de la mer à Halifax, valeur au débarquement du poisson de fond, salinité de la couche mixte, couverture de glace, force d'entraînement du vent (tau), nombre de nouveaux puits forés, teneur en nitrate (sous 150 m), abondance du poisson de fond (nombre), indice Shannon de diversité du poisson, levé sismique 2D (km).

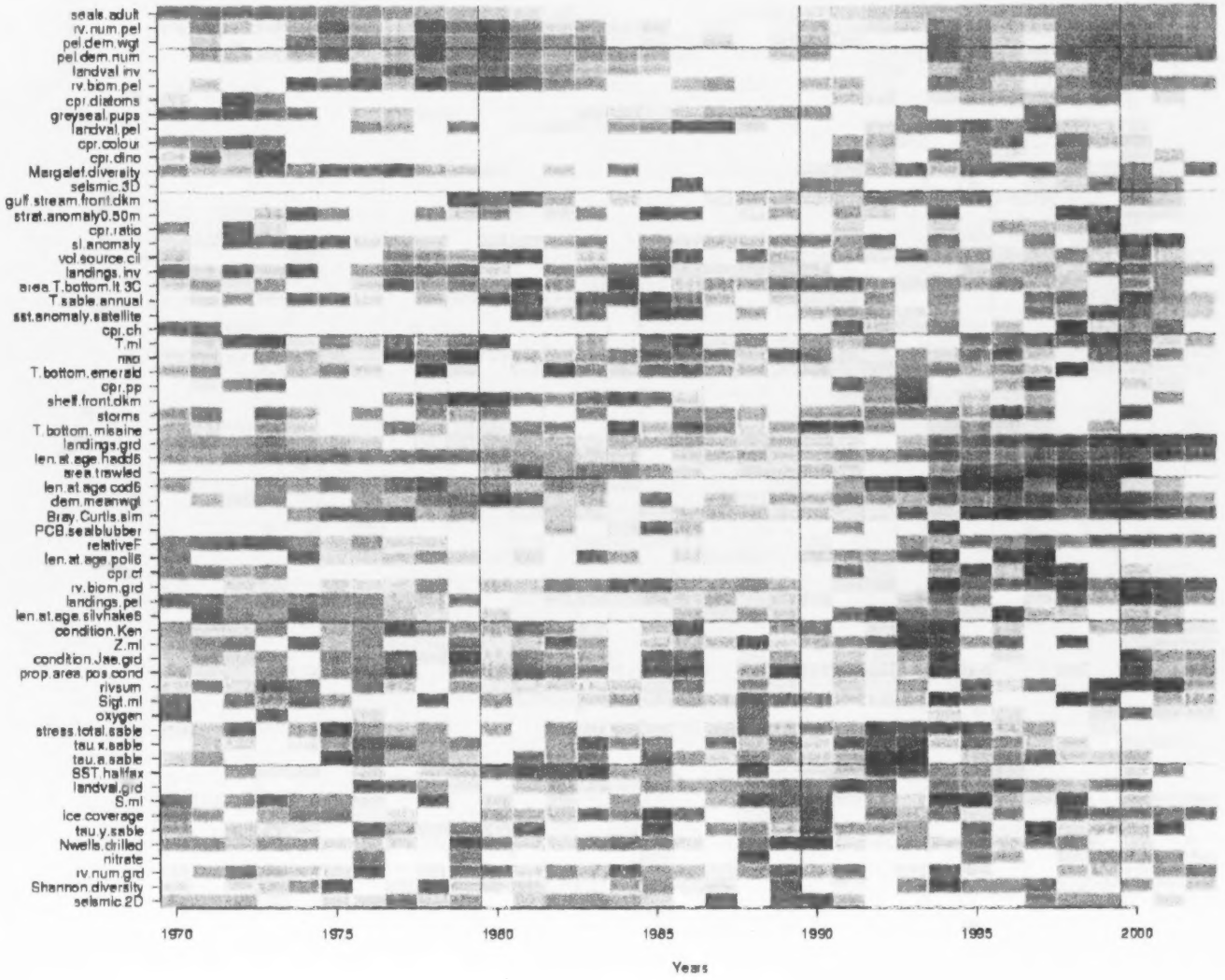

seals.adult
rv.num.pel
pel.dem.wgt
pel.dem.num
landval.inv
rv.biom.pel
cpr.diatoms
greyseal.pups
landval.pel
cpr.colour
cpr.dino
Margalef.diversity
seismic.3D
gulf.stream.front.dkm
strat.anomaly0.50m
cpr.ratio
sl.anomaly
vol.source.cil
landings.inv
area.T.bottom.lt.3C
T.sable.annual
sst.anomaly.satellite
cpr.ch
T.ml
nao
T.bottom.emerald
cpr.pp
shelf.front.dkm
storms
T.bottom.misaine
landings.grd
len.at.age.had6
area.trawled
len.at.age.cod6
dem.meanwgt
Bray.Curtis.sim
PCB.sealblubber
relativeF
len.at.age.pol6
cpr.cf
rv.biom.grd
landings.pel
len.at.age.silvhake6
condition.Ken
Z.ml
condition.Jae.grd
prop.area.pos.cond
rivsum
Sigt.ml
oxygen
stress.total.sable
tau.x.sable
tau.a.sable
SST.halifax
landval.grd
S.ml
ice.coverage
tau.y.sable
Nwells.drilled
nitrate
rv.num.grd
Shannon.diversity
seismic.2D
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
Years

Figure 1. Analyse en composantes principales illustrant les deux premières composantes principales reposant sur les diverses mesures du modèle. Seul un sous-ensemble du nombre total de mesures utilisées dans l'analyse sont illustrées.